

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

Lubomír Kujal

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

Vyhledávání a měření částečných výbojů

Search and Measurement of Partial Discharges

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lubomír Kujal**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vyhledávání a měření částečných výbojů**
Search and Measurement of Partial Discharges

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika a principy detekce částečných výbojů.
2. Corocamera a její možnosti.
3. Monitoring, měření a vyhledávání částečných výbojů.
4. Částečné výboje a jejich rozvoj v izolačních systémech.


Seznam doporučené odborné literatury:

- MACH, Veleslav. Technika vysokého napětí. Ostrava: Skriptum 2. přepracované vydání, ES VŠB-TUO, 2006, 114 s. ISBN 80-248-1161-8
- ZÁLIŠ, Karel. Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Praha : ACADEMIA, 2006. 135 s. ISBN 80-200-1358-X (263712)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Veleslav Mach**

Datum zadání: 01.09.2013
Datum odevzdání: 07.05.2014


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. V. Machovi a panu F. Ženožičkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další velice cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Lubomír Kujal, 1. 5. 2014

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je zpracovat informace týkající se částečných výbojů. Jejich charakteristické vlastnosti a druhy. Popsat jak se projevují a jaké vlivy mají na izolační systémy. Jednou z důležitých částí této práce je část pojednávající o závadách, neboť v dnešní době se používá velké množství elektrických zařízení a proto je kladen velký důraz na dodržení dodávek elektrické energie bez výpadků. Tato práce popisuje možnosti, způsoby a principy měření částečných výbojů. Je zde také uvedeno, jak se provádí vyhledávání částečných výbojů v provozních podmínkách. K přiblížení problematiky částečných výbojů je zde uvedeno několik závad na provozním zařízení. Na příslušných fotografiích jsou zachyceny podklady z měření. Dále je tu popsán rozvoj částečných výbojů v izolačních systémech.

Klíčová slova:

částečné výboje, koróna, vnější výboje, povrchové výboje, závady, degradační účinky, detekce, corocamera, ultrazvukový detektor, vysokofrekvenční detektor, detektor VYZER, termovize, termokamera

Abstract:

The aim of this thesis is to process information related to partial discharges. Their characteristics and species. Describe how they express themselves and what effects they have on insulation systems. One important part of this work is a section on defects, because nowadays enjoys a large amount of electrical equipment and therefore put great emphasis on compliance with the electricity supply without interruption. This paper describes the ways and principles of partial discharge measurements. It also shows how the search is performed partial discharges in operating conditions. To approach the issue of partial discharge, there are some defects in the operating device. The relevant documents are captured photographs of measurements. Furthermore, there is described the development of partial discharges in insulation systems.

Keywords:

partial discharge, corona, external discharges, surface discharges, defects, degradation effects, detection, corocamera, ultrasonic detector, high frequency detector, detector VYZER, thermography, thermal camera

Seznam použitých zkratek

CCD	snímač matice foto-detektorů
MCP	více kanálové desky
UV	ultrafialové
ČV	částečné výboje
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
zvn	zvlášť vysoké napětí
vf	vysokofrekvenční
OD	optická hustota (anglicky Optical density resp. O. D.)
SNR	výstup z ICCD (tzv. Shot noise rušení)
IČ	infračervené

Obsah

1. Úvod	1
2. Popis částečných výbojů	2
2.1. Vznik částečných výbojů	3
2.2. Průběh Č.V. a jejich projevy	5
2.3. Druhy částečných výbojů	7
3. Vyhledávání Č.V.	9
3.1. Ultrazvuk	9
3.2. Corocamera	11
3.3. VYZER–Vyhledávač Zdrojů Elektromagnetického Rušení	22
3.4. Termovize	24
4. Měření částečných výbojů	30
4.1. Principy metod	30
4.2. Provozní měření Č.V.	33
4.3. Online monitoring Č.V.	35
5. Problematika závad	37
5.1. Rozvoj poruchy	37
5.2. Výboje v zařízeních	39
5.2.1. Kabelové koncovky	40
5.2.2. Kabelová koncovka 110 kV	46
5.2.3. Výkonový transformátor	47
5.2.4. Průchodky	48
5.2.5. Zapouzdřená rozvodna 35kV	49
5.2.6. Přístrojové transformátory proudu	51
5.2.7. Vypínače	53
5.2.8. Táhlá odpínače a úsekového vypínače	55
5.2.9. Opěrný prvek komory vypínače	60
6. Závěr	62
7. Použitá literatura	63

1. Úvod

V dnešní době je téměř celá lidská populace závislá na elektrické energii. S rozvojem moderních spotřebičů je kladen velký důraz na kvalitu dodávky této energie. Při přerušení dodávky elektrické energie hrozí, jak ohrožení lidských životů, tak i značné národohospodářské ztráty. Proto jsou vynakládány nemalé finanční částky na zjišťování možných závad za stálého provozu elektrické distribuční soustavy. K zajištění bezporuchového stavu zařízení je potřebné znát vývoj jejich vlastností. Tyto informace zjišťuje disciplína, která se studiem dějů probíhajících v dotčených zařízeních věnuje. Tato disciplína se nazývá diagnostika. Hlavním úkolem diagnostiky je zkoumat podmínky a vlastnosti zařízení, aby byly včas odhaleny závady a anomálie. Ve většině případů se provádí diagnostika v provozních podmínkách. To znamená za běžného provozu částí energetické soustavy. Velkým rozvojem v této době prochází přímá on-line diagnostika.

Jednou z částí moderní diagnostiky je vyhledávání a měření částečných výbojů. Částečné výboje se vyhledávají za běžného provozu zařízení. Částečné výboje negativně ovlivňují vlastnosti izolačních systému. V této práci jsou popsány možnosti a způsoby vyhledávání těchto výbojů. Jsou zde popsány druhy částečných výbojů. Je zde popsána měřicí technika sloužící k vyhledávání částečných výbojů. Dále jsou zde popsány poruchy jednotlivých zařízení, a také je zde objasněn rozvoj závady v izolačním systému.

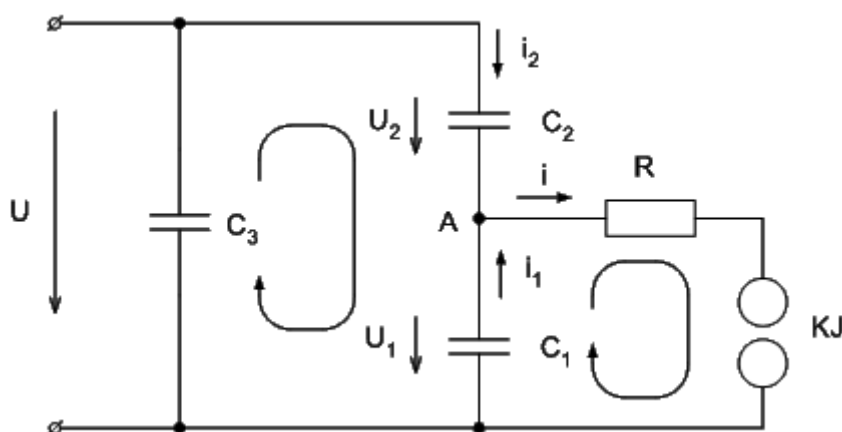
2. Popis částečných výbojů

Technika vysokého napětí rozlišuje dva základní druhy napěťového namáhání izolace a to úplný a neúplný přeskok. Pokud dochází k úplnému přeskoku, jsou obě elektrody spojeny nízkoodporovým výbojem a celá izolace je tímto výbojem přemostěna neboli dochází k průrazu. Při neúplném průrazu je výbojem proražena pouze část izolace a vytváří se pouze částečný průraz. Z toho vyplývá, že zbytek zdravé izolace má ještě stále dostatečnou elektrickou pevnost a napěťové namáhání vydrží. Neboli při ČV dochází k otevření vodivé cesty v izolaci, ale vlastnosti této izolace jsou ještě tak dobré, že dokážou tuto vodivou cestu uzavřít. [2]

ČSN 60 270 popisuje částečné výboje jako elektrické výboje, které přemostí jen částečně izolaci mezi elektrodami, nebo vodiči, které jsou na různých potenciálech. [3] Jedná se o jeden z druhů elektrického výboje vyskytujícího se při provozu elektrických strojů, zařízení a elektrických vedení. Na obrázku číslo 1 je znázorněno schéma simulace částečného výboje.

ČV jsou vyvolány nehomogenitami v dielektrických materiálech, jako jsou plynem plněné dutiny, trhliny a nečistoty cizích částic. ČV vytvářejí proudové impulsy, tyto impulsy jsou zpravidla velmi malé s dobou trvání mnohem kratší než $1\mu s$.

„Právě pole dutinky v pevném izolantu vysvětluje mechanismus stárnutí dielektrika v důsledku tzv. částečných výbojů. Dutinky, které se v materiálu vyskytují od výroby, ale vznikají také během provozu zařízení, jsou příčinou ztrát v dielektriku. Tyto ionizační ztráty vznikají při určitém napětí a postupně v různých místech“. [8]



Obr. 1: Náhradní schéma částečného výboje

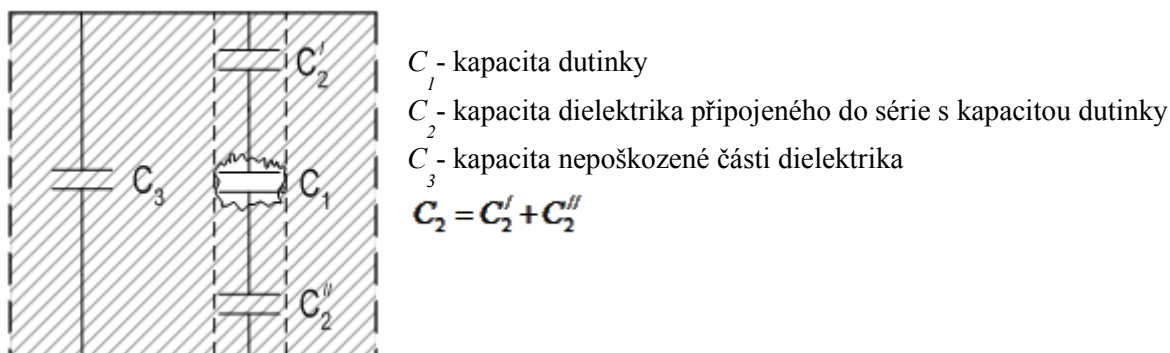
- C_1 - kapacita dutinky
- C_2 - kapacita dielektrika připojeného do série s kapacitou dutinky
- C_3 - kapacita nepoškozené části dielektrika
- R - odpor výbojového kanálu
- KJ - kulové jiskřiště (jeho zapálení představuje částečný výboj)

2.1. Vznik částečných výbojů

Částečné výboje obvykle vznikají důsledkem koncentrace lokálního elektrického namáhání v izolaci, na povrchu izolace a v okolí vodičů, ale mohou také vycházet přímo z jedné z elektrod, nebo mohou probíhat i v dutině izolantu. [1] Na obrázku číslo 2 je znázorněno náhradní schéma vzduchové nehomogenity v dielektriku

ČV vznikají v jakémkoliv zkoušeném objektu a za určitých podmínek mohou být charakterizovány různými měřitelnými veličinami. Měřitelné veličiny pro diagnostiku částečných výbojů jsou například náboj, rychlost opakování, fázový úhel výskytu impulsu částečného výboje a četnost impulsů. Nejdůležitějšími z nich je zdánlivý náboj, zapalovací a zhasací napětí. Zdánlivý náboj je vyjádřen v pC (pico-coulombech) a jedná se o základní diagnostický parametr pro měření a vyhodnocení částečných výbojů. [1]

„Zdánlivý náboj impulsu částečného výboje je takový náboj, při jehož mžikovém přivedení na svorky zkoušeného objektu se krátkodobě změní napětí mezi jeho elektrodami na takovou hodnotu, na kterou by se změnilo při částečném výboji. Zdánlivý náboj se nerovná skutečnému náboji, který je přenášen reálným částečným výbojem a nemůže být měřen přímo. Nelze ho měřit přímo z toho důvodu, neboť souvisí s procesy odehrávajícími se uvnitř dielektrika“. [1]



Obr. 2: Náhradní schéma vzduchové nehomogenity v dielektriku

Na obrázku číslo 3 je přiblížen principiální vznik ČV. V tomto obrázku C_a odpovídá kapacitě zkoušeného objektu, C_b je kapacita dielektrického sloupce v sérii s dutinou vyplněnou plynem a C_c , která představuje kapacitu plynem vyplněné dutiny generující ČV. V reálných izolacích je vždy splněna podmínka.

$$C_b \ll C_c \ll C_a$$

Relativně nízká pevnost průrazu E_{bg} dutiny je simulována vzduchovou mezerou G_c paralelně k C_c , což limituje průrazné napětí na U_c . Odpor R_c ve spojení s C_c představuje proces formování přechodného náboje, který je vyjádřen charakteristickou časovou konstantou.

$$\tau = R_c + C_c$$

Pokud je uvažovaný vzorek podroben střídavému zkušebnímu napětí $U_a(t)$, tak se na C objeví napětí

$$u_c(t) = u_a(t) \times C_b \div C_c,$$

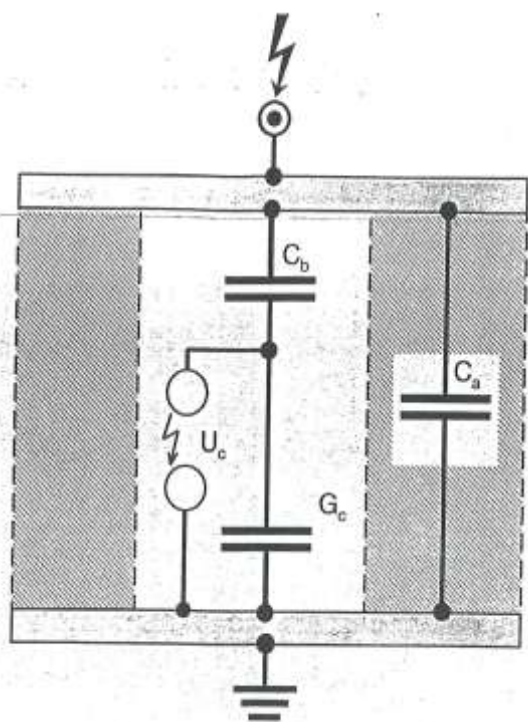
které je časově závislé. Pokud nyní $u_c(t)$ překročí kritickou velikost U_{cm} , vzduchová mezera G_c se prorazí. To se stane, když přiložené napětí $u_a(t)$ překročí vrcholovou hodnotu.

$$U_a = U_{cm} \times C_c \div C_b$$

Následkem vzniku ČV se zbytkové napětí na C_c poklesne skoro až na nulu v nanosekundovém rozsahu. Bezprostředně po tomto ději začne intenzita pole v dutině opět narůstat následkem dalšího zvyšování střídavého zkušební napětí $u_a(t)$. Rostoucí částečné napětí $u_c(t)$ na dutině G_c je vždy určeno po měřeném $C_c \div C_b$.

V konečné fázi může být opět překročena kritická intenzita pole průrazu plynu uvnitř dutiny. Z toho důvodu se bude proces ČV sám opakovat, jestliže přiložené střídavé zkušební napětí nedosáhne své vrcholové hodnoty. Pak již k tomuto procesu nemůže docházet v kladné půlvině, ale může se opět opakovat v záporné půlvině.

Po splnění této podmínky vznikají posloupnosti impulzů ČV v obou půlvinách. Rychlost opakování impulzů určuje hlavně velikost přiloženého střídavého zkušební napětí $u_a(t)$. Z těchto poznatků vyplývá, že časový interval mezi událostmi ČV se zmenšuje, pokud je vyšší vrcholové napětí. Na druhé straně se interval prodlouží, jestliže se sníží frekvence přiloženého zkušební napětí. Tak se u stejnosměrných nebo u VLF napětí může rychlost opakování impulzů ČV stát velmi nízkou, což se musí brát v úvahu, jestliže jsou zkoušky ČV prováděny při takových napěťových namáháních. [4]



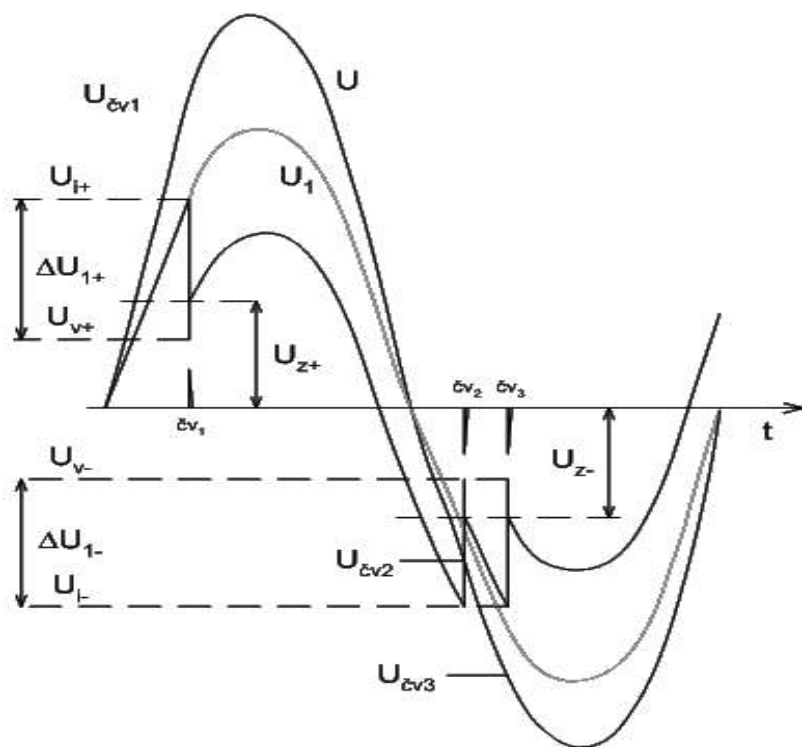
Obr. 3: Ekvivalentní obvod pro zapálení ČV

2.2. Průběh Č.V. a jejich projevy

K lepšímu objasnění zapalovací události částečných výbojů v nehomogenitách izolačního materiálu můžeme využít například dutiny naplněné plynem uvnitř izolace VN kabelu. Náhradní schéma je znázorněno na obrázku číslo 2 a průběh této události vidíme na obrázku číslo 4. Na obrázku číslo 5 je znázorněna simulace skutečné události v kabelu. Z tohoto obrázku je viditelné, že průběh intenzity radiálního pole je velmi ovlivněn touto dutinou, to znamená, že maximální intenzita pole E_{ms} na vnitřní elektrodě je pomalu snižována a lokální pole v této oblasti dutiny je značně zvýšeno až na E_{mg} .

Poměr zvýšení pole se rovná relativní dielektrické permitivitě ϵ_r pevného dielektrika. Koeficient v rozmezí 2,2- 2,3 odpovídá XPE. Při tomto koeficientu musíme vzít v úvahu, že intenzita pole průrazu E_{bg} plynného dielektrika je podstatně nižší než je obvyklé u pevného materiálu. Z toho důvodu lokální intenzita pole E_{mg} uvnitř dutiny naplněné plynem může překročit kritickou hodnotu E_{bg} , která vyvolá zapálení výbojů v plynu. Bezprostředně po zapálení tohoto ČV je původní intenzita pole E_{mg} uvnitř dutiny podstatně snížena. Tento stav je vyvolán vznikem unipolárních prostorových nábojů, což vidíme na obrázku č. 6.

Nová událost ČV může tedy nastat jen tehdy, když intenzita pole v dutině překročí opět kritickou pevnost průrazu E_{bg} . K tomu může dojít jen tehdy, když se dále zvýší přiložené zkušební napětí. Za této podmínky je snížení intenzity pole opět kompenzováno, z čehož se mohou objevit další impulzy ČV. Je důležité uvést, že při stejnosměrném namáhání se dosáhne kritické intenzity pole E_{bg} pro opětovné zapálení ČV jen tehdy, pokud se prostorový náboj v dutině vrátí do výchozího stavu následkem rekombinačních a difuzních procesů. Tento proces trvá relativně dlouho, zvláště u extrudované izolace. Z tohoto důvodu je rychlost opakování ČV při stejnosměrném namáhání podstatně menší než při střídavém zkušebním napětí. [4]



U - napětí přiložené na svorky
 $U = U_m \sin 2\pi f t$

U_1 - napětí na dutince $U_1 = U_m \sin 2\pi f t$

U_i - okamžitá hodnota
zapalovacího napětí dutinky

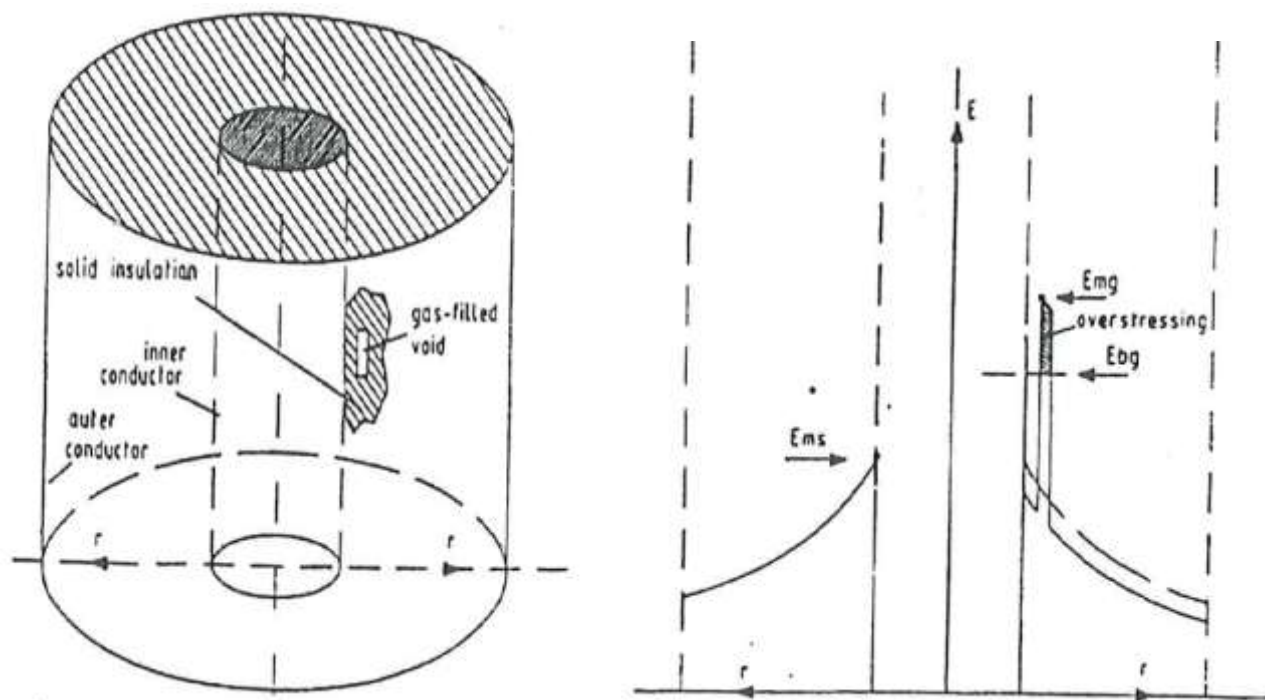
U_v - okamžitá hodnota
zůstatkového napětí (po
ukončení výboje)

U_z - zpětné napětí

DU_1 - pokles napětí na dutince
vlivem částečného výboje

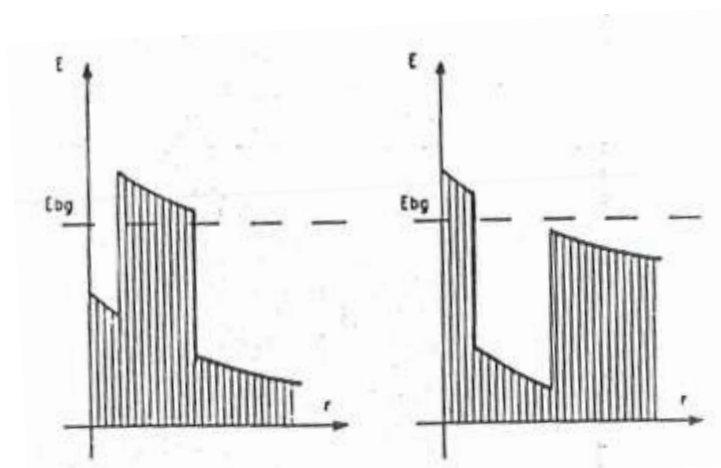
U_{cv} - napětí na vzorku
v okamžiku částečného výboje

Obr. 4: Průběh napětí na dutince



Obr. 5 : Rozdělení intenzity radiálního pole v pevné izolaci, která má dutinu naplněnou plynem

solid insulation – pevná izolace
 inner conductor- jádro kabelu
 outer conductor- vodivé stínění
 gas-filled void- dutina vyplněná plynem
 overstressing- nadměrné namáhání



Obr. 6: Vliv unipolárních prostorových nábojů v dutině na průběh radiálního elektrostického pole

Částečné výboje se projevují svými charakteristickými vlastnostmi, a to v závislosti na druhu výboje. Projevy těchto vlastností mohou ovlivňovat negativně okolní prostředí nebo izolační materiál, který se nachází v jejich blízkosti nebo na kterém přímo vznikají. Částečné výboje mohou však být vyvolány i cizími příměsemi v pevných a kapalných dielektrících.

Projevy vnějších částečných výbojů

Vnější částečné výboje zpravidla vznikají v okolí ostrých hran a výčnělku a jsou vyzařovány do okolního prostoru. Je to následek velké koncentrace siločar elektrického pole. Vnější částečné výboje nejsou zpravidla nebezpečné, neboť se jedná hlavně o výboje bodové neboli korónové, při kterých se výboj vyzařuje do vzduchu. Oproti tomu výboje, které vznikají podél pevných rozhraní, šířících se ve vzduchu, jsou nebezpečné. Tyto výboje pronikají podél povrchu izolace a ovlivňují tak její vlastnosti. Hlavní ohrožené součásti elektrického zařízení jsou průchodky, kabelové koncovky a v neposlední řadě vinutí generátoru. Projevují se paralelně s povrchem dielektrika jako klouzavé výboje z důvodu špatné elektrické pevnosti vzduchu v porovnání s pevným dielektrikem. [2]

Projevy vnitřních částečných výbojů

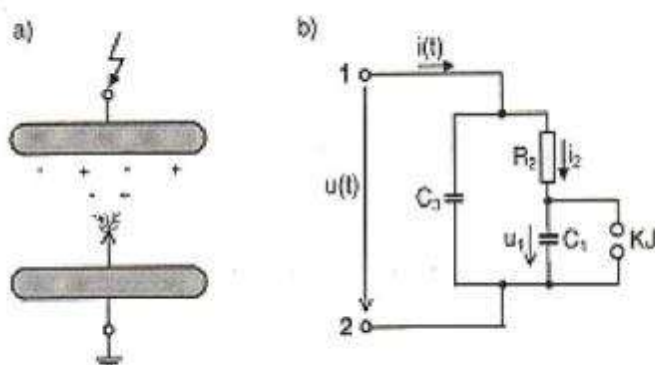
Vnitřní částečné výboje vznikají zejména uvnitř nádob transformátorů, v dutinách izolačních materiálů, podél izolačních rozhraní a v plynech, například u vypínačů, dále ve vnitřních izolacích kabelových souborů (koncovky, spojky). Tyto výboje jsou velice nebezpečné, neboť se obtížněji zjišťují. Výboje vznikající uvnitř nádob v oleji. Projevují se vznikem plynu uvnitř těchto nádob v důsledku dlouhodobého působení částečných výbojů na vinutí přístrojových transformátorů. Tento příklad výbojů si lze také představit jako dvě dielektrická rozhraní, která jsou tvořena kombinací pevné a kapalné izolace.

Podobné projevy výbojů vznikají také u kabelů, s tím rozdílem, že výbojová činnost probíhá mezi pevnými dielektriky. Další možností projevů výbojů jsou výboje v příměsích vyplněných plynem, tyto příměsi vznikají v pevných a kapalných dielektrících, například u dutin a trhlin mohou zásadně snižovat zapalovací napětí. Projev tohoto druhu je srovnatelný s projevem povrchových výbojů ve vzduchu. [2]

2.3. Druhy částečných výbojů

Základní rozdělení částečných výbojů můžeme provést takto:

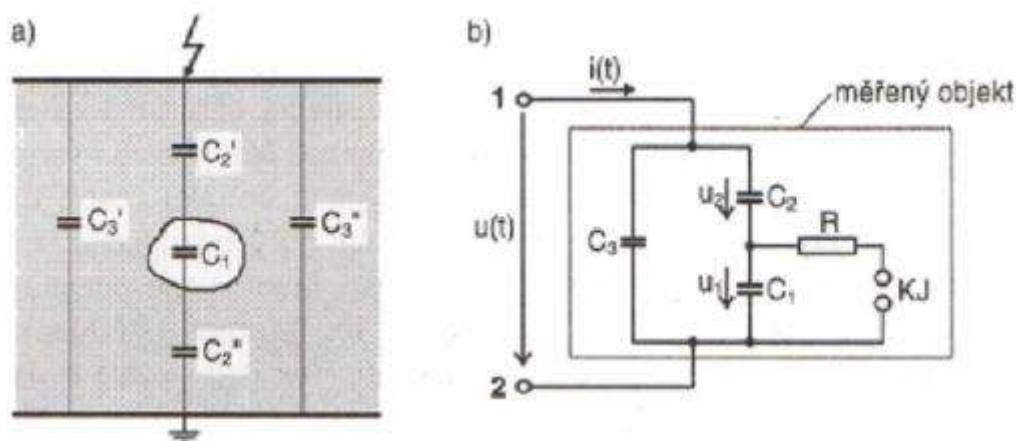
Vnější částečné výboje: Jsou to částečné výboje v plynech, v okolí elektrod malých poloměrů, nebo zakřivení čili ostré hrany a výčnělky, jako např. doutnavé výboje, korónové výboje, Trichelovy impulsy (nitkovité neboli trsové výboje). [2]



Obr. 7: Náhradní schéma pro vnější částečné výboje

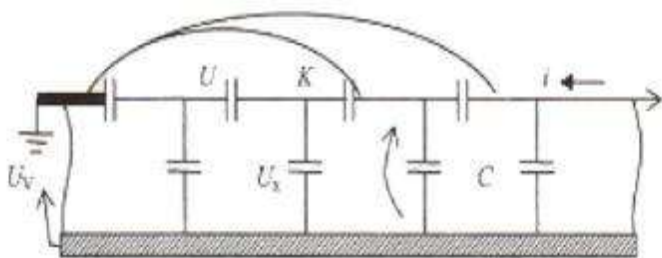
Obrázek 7. Část a. Znázorňuje schéma elektrodového uspořádání hrot-deska popisující vnější ČV. Část b. Uvádí zjednodušené náhradní schéma. C_1 zastupuje kapacitu vzduchového prostoru, a je vždy zkratována, když dojde k ČV C_3 je paralelní kapacita elektrodového uspořádání. Výboj je nahrazen kulovým jiskřištěm KJ. [2]

Vnitřní částečné výboje: Jsou to částečné výboje v plynech obklopené pevným, či kapalným dielektrikem, jako např. výboje v plynných dutinách v pevném dielektriku. [1]



Obr. 8: Náhradní schéma pro vnitřní částečné výboje jedná se o trojkapacitní model

Povrchové částečné výboje: Jsou to částečné výboje v okolí elektrod a rozhraní pevného a plynného dielektrika, např. klouzavé výboje. [1]



Obr. 9: Náhradní schéma přibližující klouzavé výboje

3. Vyhledávání Č.V.

Při zjišťování částečných výbojů se zpravidla vyhledává jejich maximální intenzita s výjimkou přesného měření. Pokud je zařízení vn správně navrženo, zkonstruováno a namontováno, jsou tato zařízení prakticky bez výbojů. Vysokofrekvenční rušení ovlivňuje výsledky měření, a v některých případech ho i znemožňuje, příkladem mohou být kapacitní výboje nebo průmyslová elektronika.

Vyhledávání se ve většině případů provádí při pochůzce mezi jednotlivými poli nebo kobkami uvnitř rozvodny. Jednotlivé prvky zařízení jako jsou například vypínače, měřicí transformátory, kabelové koncovky atd. Jsou snímány pomocí celé řady detektorů a kamer. Snímání se provádí po celé délce a ze všech přístupných stran. V první fázi se nejprve provede pochůzka bez měřicí techniky a provádí se vizuální a sluchová detekce. Dále se pokračuje s ultrazvukovými detektory a LDP-5. V případě nálezů částečných výbojů na některém prvku se provádí dohledání místa vzniku. Dohledávání se provádí za pomoci přístrojů VYZER a LDA 5/30, které se kombinují s corocamerou a termokamerou.

3.1. Ultrazvuk

Využívá se zpravidla dvou druhů ultrazvukových detektorů, jedna z těchto variant je digitální detektor LDA 5 a druhou variantou je analogový detektor. Oba dva druhy je vhodné, při vlastním měření kombinovat, protože každý z těchto detektorů má své výhody v určitém vlnovém spektru a také v možnosti zobrazení a archivaci dat. Digitálního ultrazvukového senzoru LDA 5/s a analogového ultrazvukového detektoru se využívá pro kontrolu vn zařízení, jedná se především o kabelové soubory a koncovky, přenosová vedení, měřicí a silové transformátory, a také zapouzdřené rozvaděče (lze měřit pouze do jisté míry). Tato metoda je výhodnější hlavně v provozních podmínkách oproti elektrické detekci z důvodu velmi dobré odolnosti proti elektromagnetickému rušení. Hlavní princip fungování ultrazvukového detektoru je zachycení a zpracování zvukových tlakových vln, které vytvářejí částečné výboje na zařízení.



Obr. 10: Analogový ultrazvukový detektor Tettex

LDA 5/s a ultrazvukový detektor umožňuje provádět bezkontaktní i kontaktní měření. Pro bezkontaktní měření se používá ultrazvukový detektor s namontovaným parabolickým reflektorem, ve kterém se nachází průhled, pomocí kterého se dá zaměřit přesný bod vzniku částečného výboje, s přístrojem lze měřit až do vzdálenosti cca 20m. [4]

Kontaktního měření se využívá, hlavně k vyhledávání částečných výbojů uvnitř zařízení, zvláště pak u transformátoru a zapouzdřených rozvodů, k tomuto měření se používá kontaktního ultrazvukového detektoru vybaveného hrotem. Pokud je měření prováděno LDA 5/s je vhodné při tomto měření použít i jiné měřicí přístroje, vhodná je kombinace například s LDP 5 a využít tak výstupu na obou přístrojích k připojení dvoukanálového osciloskopu k zobrazení signálů, a zamezit tak chybnému vyhodnocení.

Je dobré provádět měření na více místech a z více úhlů. V případě lokalizace částečného výboje, je ve sluchátkách slyšet charakteristický zvuk, který se zesiluje přibližováním se ke zdroji částečných výbojů. Tohoto zesílení se dosahuje snižováním vzdálenosti mezi zdrojem ČV a detektorem, nebo přesnějším zaměřováním detektoru na zdroj. Přístroj LDA 5/s je osazen diodou, která se rozsvítí při nálezu zdroje částečných výbojů. Je-li potřeba měnit citlivost měřicího přístroje z důvodů přesného nalezení zdroje částečných výbojů, jsou oba přístroje vybaveny potenciometrem, a je možno dle potřeby měnit intenzitu snímání. V případě měření s LDA 5/s v místě s vysokou intenzitou rušení může dojít k zahlcení vstupu přístroje a znemožnit tak lokalizaci, v takovém případě je výhodnější použít ultrazvukový detektor Tettex. Ultrazvukový detektor Tettex má oproti LDA 5/s na čelní straně analogový ručkový měřič, s kterým lze pomocí sluchátek porovnávat správnost zaměření a velikost intenzity výbojů.

3.2. Corocamera

Corocamery jsou založeny na principu optického snímání okolí v UV spektru, neboli probíhá snímání dvojitého spektra, které kombinuje ultrafialový senzor s klasickou kamerou. Díky tomu je možné velmi slabé UV vyzařování kolem částí vysokonapěťového zařízení detekovat, a následně zobrazit na přehledném viditelném pozadí.

Za pomoci této metody lze pozorovat slabé korónové výboje řádu jednotek pikocoulombů na vzdálenosti několika desítek metrů. Zařízení produkující částečné výboje zároveň vyzařuje do okolí vizuální emisi, která se projevuje v UV spektru. Spektrum UV je pouze malou částí spektra, pro lidské oko je neviditelné. Obrázek přibližující UV spektrum je znázorněn níže č. 12. UV spektrum se skládá ze tří částí A, B a C, rozsah celého spektra se pohybuje v rozmezí od 230 do 405 nm. Corocamery právě pracují ve spektru UVC, jejich schopnost rozlišení se odvíjí od použitého filtru, tyto filtry se pohybují v rozmezí od 240 do 280 nm. Optimální filtry odrušující sluneční radiaci se pohybují ve spektru 200 až 280 nm. Tyto filtry musí zajistit zablokování celého slunečního záření a zároveň být zcela transparentní v oblasti UV. Používá se několika vrstev filtrů a na jejich kvalitě závisí citlivost celé corocamery. [5]

Corocamery můžeme rozdělit mezi denní a noční. Noční znázorňují na displeji pouze UV obraz, kdežto denní jsou založeny na principu překrývání obrazů a toho se dosahuje tak, že na viditelný obraz objektu je přiložen UV obraz. Díky tomuto principu je na barevném displeji vidět měřený objekt i s místem vzniku částečného výboje. [5]

Denní kamera dále umožňuje také výběr ze tří zobrazení, a ty jsou UV zobrazení, viditelné anebo kombinované. Jak popisuje obrázek č. 11 je zřejmé, že se jedná o dva oddělené systémy. Na vstup corocamery je přivedeno celé spektrum, na tomto článku se provede rozdělení do dvou systémů nebo můžeme tyto systémy pojmenovat jako kanály. První systém je viditelné spektrum a převádí se přímo na obrazovku. Druhý systém zpracovává ultrafialové záření.

Jako první člen, který zpracovává záření je nasazena UV optika. Tato optika je složena ze soustavy skel. Optika bývá vyrobena z materiálu pro vysoký přenos v UV spektru, jedná se zejména o MgF_2 , Al_2O_3 a UV sklo. Hlavním účelem objektivu je přenést signál, který se skládá z ultrafialového záření, který vzniká při ČV a světla odraženého od měřeného objektu. Tento signál vyzařovaný z měřeného objektu je přenesen na detektor. Po tomto detektoru následuje dělič svazků. Všechny paralelní paprsky procházející přes čočky jsou kombinovány do jediného bodu na ohniskové vzdálenosti, protože UV zdroj vyzařuje paprsky do všech směrů. Čím větší je objektiv, tím více paprsků je shromažďováno. [5]

Dělič svazků provádí rozdělení světla a UV záření do dvou samostatných svazků. Světlo z prvního svazku je odražené na světlo citlivý čip klasické kamery. Tam se světlo přemění na elektrický proud, který elektronika kamery zpracuje na video záznam. Světlo z druhého svazku je odražené na širokopásmový selektivní filtr propouštějící pouze ultrafialové záření od vlnové délky 240 do 280 nm. Odfiltrované ultrafialové záření dopadá na CCD čip kamery. Tam se ultrafialové záření přemění na elektrický proud, který elektronika kamery zpracuje na video.

Výsledkem jsou dva video záznamy, které se softvérově spojí do výsledného video záznamu. Díky tomuto systému je možné vizualizovat ultrafialové záření, které vzniká při ČV, na přehledném viditelném pozadí. [5]

Následně pokračuje signál do odrušovacích slunečních filtrů, aby bylo zabráněno rušení od slunečního záření. Optický filtr je zařízení, které selektivně propouští světlo, který má určité vlastnosti (obvykle v určitém rozsahu vlnových délek), zatímco blokuje zbytek vlnového spektra. Filtry jsou definovány dvěma hlavními parametry a to zejména spektrální křivkou a propustností. [5]

Pro UV záření zobrazované pod přímým sluncem, musí mít filtr stupeň blokování úrovně 10 OD a více. Tyto vlastnosti nejsou dosažitelné pomocí interferenčního filtru. Technologicky se provádí kovem s tenkým dielektrickým filmem. Takto pokrytými filtry lze dosáhnout zablokování úrovně přinejlepším pouze do 5-6 OD. Vyšší blokování zhorší propustnost filtrů a učiní je neefektivními. Za účelem získání UV pásmových propustí, s ostrými rozhraními blokování a z pásma blokování úrovně překračující 10 OD se pásmové zaslepovací filtry vyrábějí kombinací kaskády absorbujících prvků, což vede k vytvoření přenosového okna ve spektru UV záření. Infračervené a viditelné světlo může být blokováno pomocí komerčně dostupných skel a krystalů, propustnost UV spektra se dosahuje tím, že se UV filtry vytvářejí nanášením barviva dopovaného přidaného polymeru, neboli (DDP) technologie. UV pásmové filtry založené na této technologii byly vytvořeny pro použití s CsTe a RbTe fotokatodou. Filtrové charakteristiky zahrnují 10 % -25 % špičkového vysílání, šířky pásma 16- 22nm. [9]

Dále dochází k zesílení odrušeného obrazu. Zesilovač obrazu se skládá z foto katody, více kanálové desky neboli MCP a fosforové vrstvy. Spektrální odezva zesilovače obrazu je závislá hlavně na fotokatodě. Pro tyto kamery jsou, obvykle fotokatody vyrobeny z materiálů CsTe, RbTe, CsRbTe nebo GaN. Spektrální citlivost a kvantová účinnost jsou důležité pro index fotokatody, vztah z nich je:

$$\eta(\lambda) = \frac{h \cdot c}{e} \cdot \frac{S(\lambda)}{\lambda} = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{S(\lambda)}{\lambda}$$

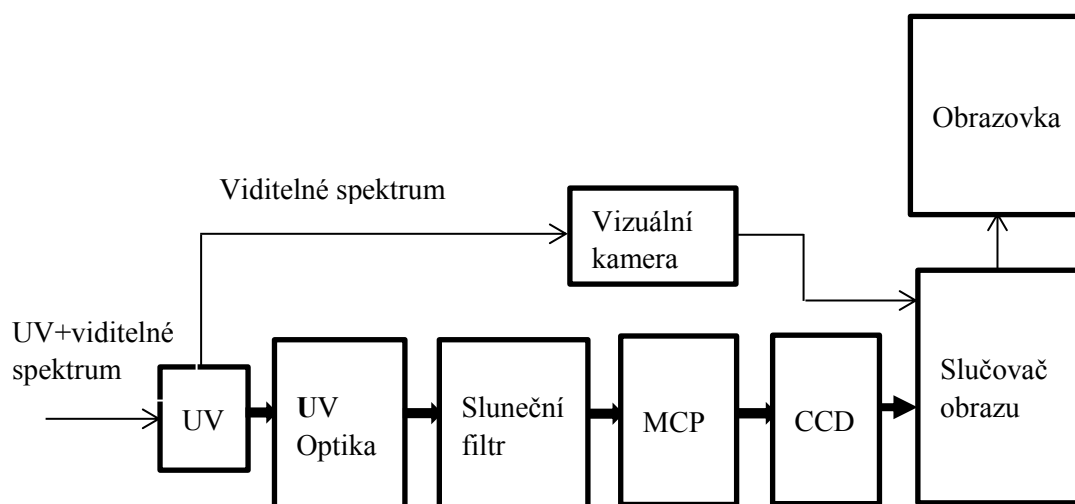
Kde $\eta(\lambda)$ je kvantová účinnost, $S(\lambda)$ je spektrální citlivost

Funkce foto katody probíhá na základě fotoelektrického jevu, při kterém jsou elektrony emitovány z energie vzniklé po absorpci elektromagnetické energie fotonu. MCP provádí urychlení vstupního elektronu na několik urychlených výstupních elektronů, zisk z jednoho elektronu může být až tisíc elektronů. MCP tvoří kovem potažená vláknitá pole. Rozteč MCP desek se může lišit od 2 μ m do 25 μ m. Pro zvýšení zisku se používají vícekanálové desky. Fosforová vrstva převádí propustným bodem elektrony na fotony. CCD je snímač matice fotodetektorů, který se velmi často používá u zobrazovacích systémů. Každý pixel převádí fotony na elektrony. ICCD snímač plní stejnou funkci jako snímač CCD, ale je rozšířen o zesilovač. ICCD nahrazuje u novějších kamer snímač CCD. [9]

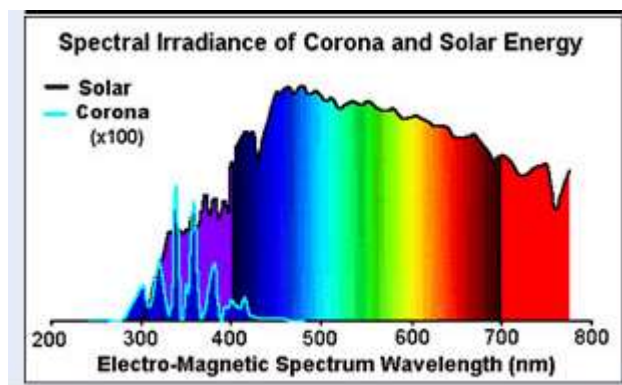
Korónová kamera není elektrické měřicí zařízení, které by dokázalo přímo změřit úroveň ČV v pC. Kamera dokáže pouze vytvořit záznam, v kterém zobrazí ultrafialové záření a vypočítá přibližnou hodnotu zdánlivého náboje, který je reprezentován barvou bodů dle nastavení. Elektronika kamery provádí výpočet za pomoci metody, při které získává plochu bodů. Při

získání UV plochy tato elektronika provádí postupné zpracování 24-bitového obrazu na 2-bitový, z kterého je možné matematicky vyčíslit UV plochu. Použitá metoda pro výpočet corocamery vychází z metody používané v termografii.

V prvním kroku se zpracuje vyextrahovaný 24-bitový obrázek, který se převede na 8-bitový. V dalším kroku se aplikuje filtr eliminující šum, který vznikl extrahováním snímku. Dále se aplikuje metoda segmentace obrazu, konkrétně přiřazení barvy v oblasti zájmu. Při tomto kroku se 8-bitový obraz převede na 2-bitový, přičemž zvolené barvě, kterou jsme si zvolili, bude přidělena jednotka a ostatním nula. Spočítáním jednotek se získá celková plocha UV vyzařování, která vzniká při ČV, pro jeden vyextrahovaný snímek.



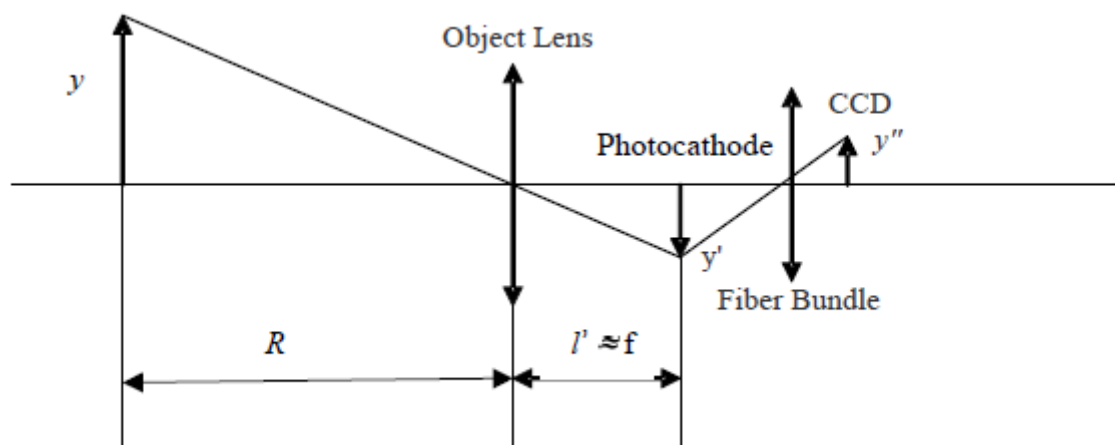
Obr. 11: Blokové schéma corocamery



Obr. 12: Znázornění viditelného a UV spektra

Detekční parametry selektivního solárního zaslepení UV ICCD detektoru

Je řešen detekční výkon UV ICCD, což znamená charakteristiku zobrazení cíle, SNR výstup z ICCD, pravděpodobnost detekce, pravděpodobnost chybného alarmu a detekční rozsah.



Obr. 13: Ilustruje proces zobrazení cíle pomocí ICCD

Dle rovnice optického zobrazení je počet pixelů snímku cíle na CCD chipu n rovno:

$$n = \frac{y \cdot f \cdot \beta}{R \cdot a}$$

Kde y je výška cíle, f fokální vzdálenost, a rozměr pixelu CCD, β zoomovací faktor svazku vláken, R je detekční vzdálenost

Pokud n je nižší než 1, nazýváme tuto detekci tzv. detekcí bodu. Pokud n překročí 10, typ detekce je nazýván tzv. detekcí oblasti. Za předpokladu, že teoretická velikost obrazu při detekci bodu byla menší než 1 pixel, aktuální velikost je téměř větší než jeden pixel při aktuální detekci. Důvod je ten, že velikost obrazu je určována bodem disperze systému ICCD. Detekce bodu závisí na rozdílu intenzity radiace mezi cílem a pozadím. Pokud rozdíl intenzity záření postačuje požadované hustotě osvitu ICCD detektoru, může být cíl detekován i za předpokladu, že teoretická velikost obrazu je menší než jeden pixel. Detekce oblasti závisí na obrazu snímku a velikosti obrazu včetně jejího tvaru. Shrnutím, detekce oblasti je citlivá na detail obrazu cíle a detekce bodu je citlivá na přenos záření. [9]



Obr. 14: Proces přenosu záření UV ICCD detektoru

Pokud je intenzita záření cíle I , hustota osvitu na CCD E_{vc} je: (3.2)

$$E_{vc} = \frac{683 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot I \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau(R) \cdot G_\Phi \cdot V}{4 \cdot R^2 \cdot S}$$

Kde D je optický průměr clony, τ_1 je přenos objektivu, τ_2 je přenos filtru, τ_3 je přenos svazku vláken, $\tau(R)$ je přenos atmosféry, G_Φ je výstup ze zesilovače, V zobrazovací účinnost mřížky, R detekční vzdálenost, S velikost plochy obrazu cíle

SNR výstup z ICCD detektoru

Rušení z ICCD obsahuje rušení ze zesilovače snímku a rušení z CCD detektoru. Rušení ze zesilovače zahrnuje kvantové rušení a rušení částic na mřížce. Kvantové rušení zesilovače se skládá z rušení fotokatody a MCP rušení, které je možné vyjádřit jako:

$$N_s = \sqrt{\bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot P_o \cdot G^2 \cdot \left[1 + \frac{\delta + 1}{\delta} + \frac{P \cdot (1 + \delta)}{\delta \cdot P - 1} \right] \cdot \eta_s^2}$$

Kde \bar{n} je průměrný počet vstupujících fotonů, t integrační doba, η_c je kvantová účinnost fotokatody, η je detekční účinnost MCP, δ je multiplikační index sekundárních elektronů, P_o a P jsou pravděpodobnosti dopadu elektronu, η_s je kvantová účinnost mřížky. [9]

Rušení částic stínítka zesilovače snímků může být vyjádřeno jako:

$$N_g = \sqrt{\bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot P_o \cdot G^2 \cdot \eta_s^2 \cdot \beta^2(x, y)}$$

Kde $\beta^2(x, y)$ je rozdíl mezi hustotou osvitů v pozici (x,y) a průměrnou hustotou osvitů na mřížce.

Na základě výše uvedeného je fotonové rušení výstupu zesilovače snímků: (3.5)

$$N_s = \sqrt{N_s^2 + N_g^2} = \sqrt{\bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot P_o \cdot G^2 \cdot \eta_s^2 \cdot \left[1 + \frac{\delta+1}{\delta} + \frac{P \cdot (1+\delta)}{\delta \cdot P-1} + \beta^2(x, y) \right]}$$

Neboť $\beta^2(x, y)$ je mnohem menší než 1 a vhodné pro výpočet, ponecháme $P_o=1$ a $P=1$, tedy Rovnice (3.5) může být zapsána jako: (3.6).

$$N_s = \sqrt{\bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot G^2 \cdot \eta_s^2 \cdot \frac{3 \cdot \delta^2 - 1}{\delta^2 - 1}}$$

CCD rušení se skládá z tzv. Shot noise rušení, přenosu, tepla a tzv. dark current rušení. Pro zhodnocení nižších osvitových hustot je u CCD dominantní Shot noise. Neboť shot noise se drží Poissonova rozdělení, je možné toto rušení vyjádřit pomocí : (3.7).

$$N_o = \sqrt{\bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot G^2 \cdot \eta_s^2 \cdot \frac{3 \cdot \delta^2 - 1}{\delta^2 - 1} + \bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot G^2 \cdot \eta_s^2 \cdot \frac{3 \cdot \delta^2 - 1}{\delta^2 - 1}}$$

Během integrační doby je signální foton na CCD ze záření cíle: (3.8):

$$N_{sccd} = \bar{n} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot G \cdot \eta_s \cdot P_o = I \cdot \frac{D^2}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau(R) \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot G \cdot \eta_s \cdot P_o$$

Z rovnic (3.7) a (3.8), SNR výstup z ICCD je možné vyjádřit jako: (3.9).

$$SNR = \sqrt{\frac{I \cdot \frac{D^2}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau(R) \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot (\delta^2 - 1)}{6 \cdot \delta^2 - 2}}$$

Pravděpodobnost detekce a pravděpodobnost falešné detekce (rušení, šumu)

Pravděpodobnost detekce je pravděpodobnost, že pokud cíl opustí zorný úhel, detekční systém jej dokáže zachytit. Pravděpodobnost falešné detekce je pravděpodobnost, kdy cíl neopustí zorné pole, detekční systém stále může detekovat cíl. Neboť rušení (šum) ICCD se drží Poissonova rozdělení, pravděpodobnost detekce a falešné detekce jsou vyjádřeny hustotou pravděpodobnosti vyjádřenou Poissonovým rozdělením – vyjádření je: (3.10) [9]

$$p(m) = \frac{(\bar{N}_n)^m}{m!} \exp^{-\bar{N}_n}$$

Kde \bar{N}_n je průměrný šum elektronu.

Pravděpodobnost falešné detekce P_f znamená pravděpodobnost, kdy šumový elektron překročí hladinu pro šum N_{th} : (3.11)

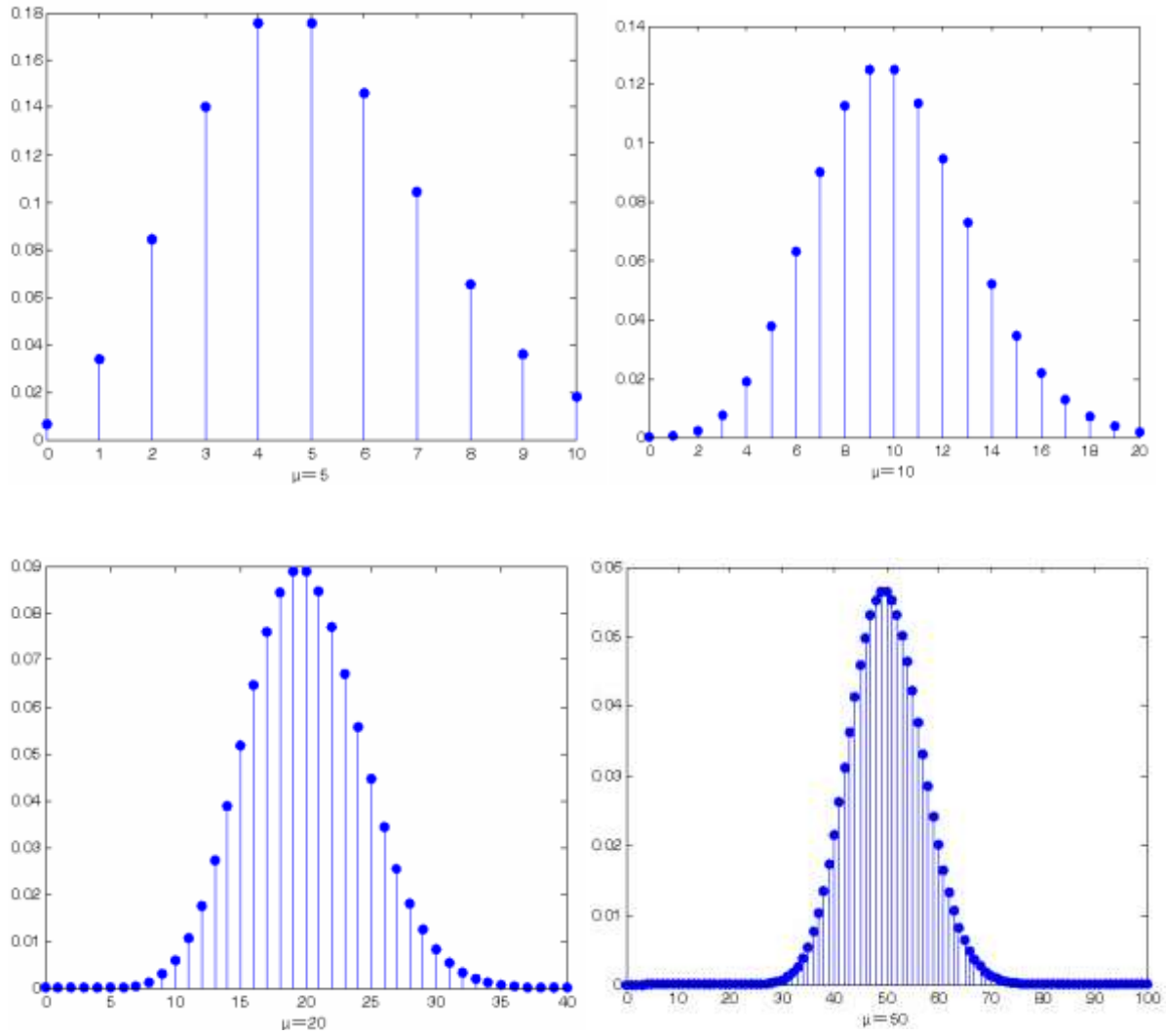
$$P_f = P(D_1|H_0) = P(m > N_{th}) = \sum_{m=N_{th}}^{\infty} \frac{(\bar{N}_n)^m}{m!} \exp^{-\bar{N}_n}$$

Pravděpodobnost detekce P_d je pravděpodobnost, že signální šumový elektron překročí hladinu N_{th} : (3.12)

$$P_d = P(D_1|H_1) = P(m + n > N_{th}) = P(m > N_{th} - n) = \sum_{m=N_{th}-n}^{\infty} \frac{(\bar{N}_n)^m}{m!} \exp^{-\bar{N}_n}$$

Kde n je výstup ze signálního elektronu.

Jakmile počet μ z Poissonova rozdělení překročí 20, je možné toto rozdělení považovat jako normální rozdělení (viz obr.č.:15).



Obr. 15: Zobrazení matlab

Rozdělení šumového elektronu je vyjádřeno funkcí normálního rozdělení hustoty: (3.13)

$$f(m) = \frac{1}{\sqrt{\bar{N}_n} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{-(m - \bar{N}_n)^2}{2 \sqrt{\bar{N}_n}^2}}$$

Pravděpodobnost falešné detekce je vyjádřena normálním rozdělením: (3.14)

$$P_f = P(D_1|H_o) = P(m > N_{th}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{SNR_{th}}^{\infty} e^{\frac{-t^2}{2}} dt$$

Kde $t = (m - \bar{N}_n)/\sqrt{\bar{N}_n}$ a mezní SNR jsou definovány: (3.15)

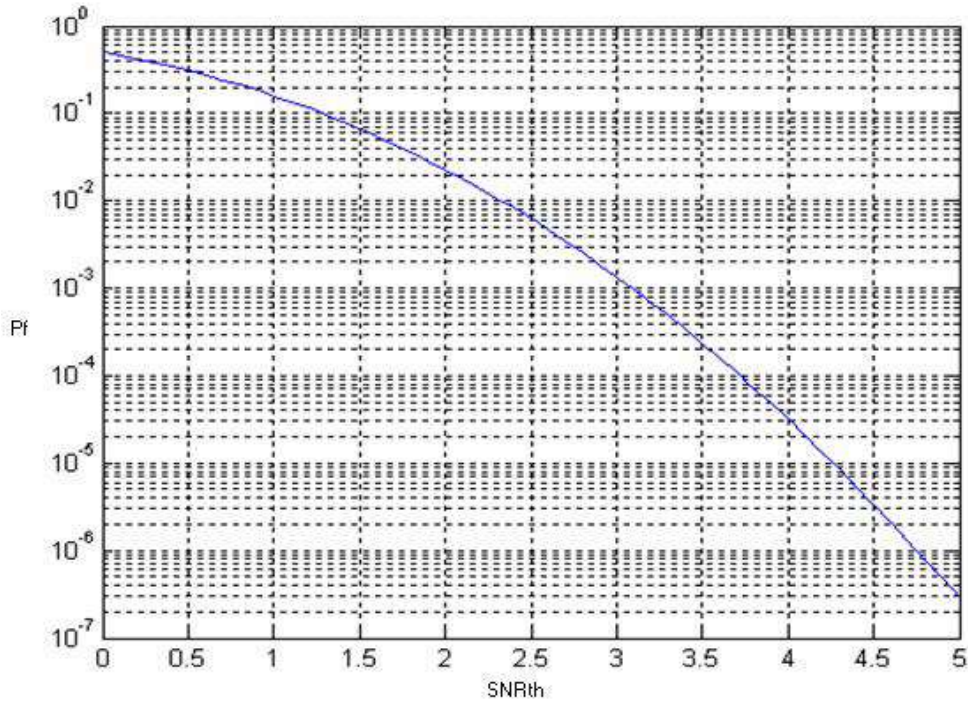
$$SNR_{th} = (N_{th} - \bar{N}_n)/\sqrt{\bar{N}_n}$$

Pravděpodobnost detekce je vyjádřena normálním rozložením: (3.16)

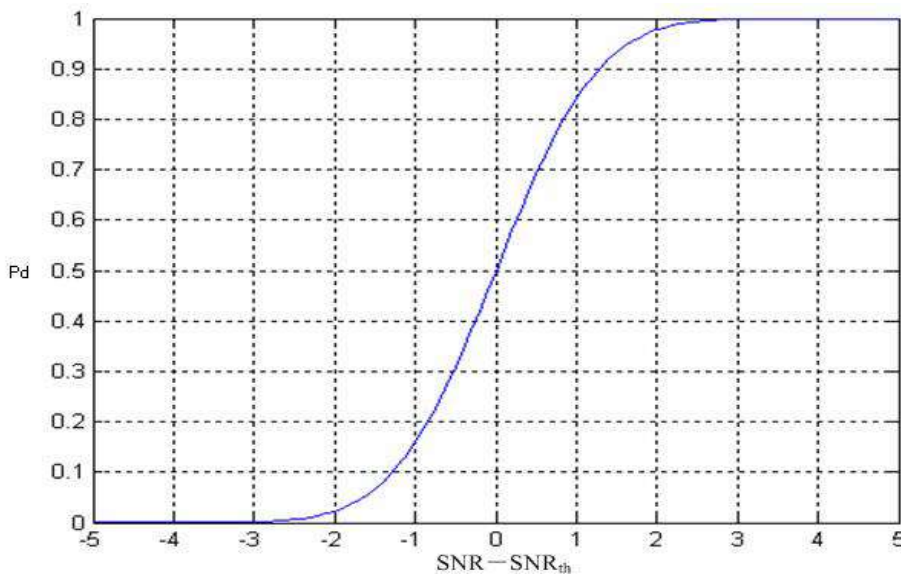
$$P_d = P(D_1|H_1) = P(m + n > N_{th}) = P(m > N_{th} - n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{SNR_{th} - SNR}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Kde $SNR = n/\sqrt{N_n}$.

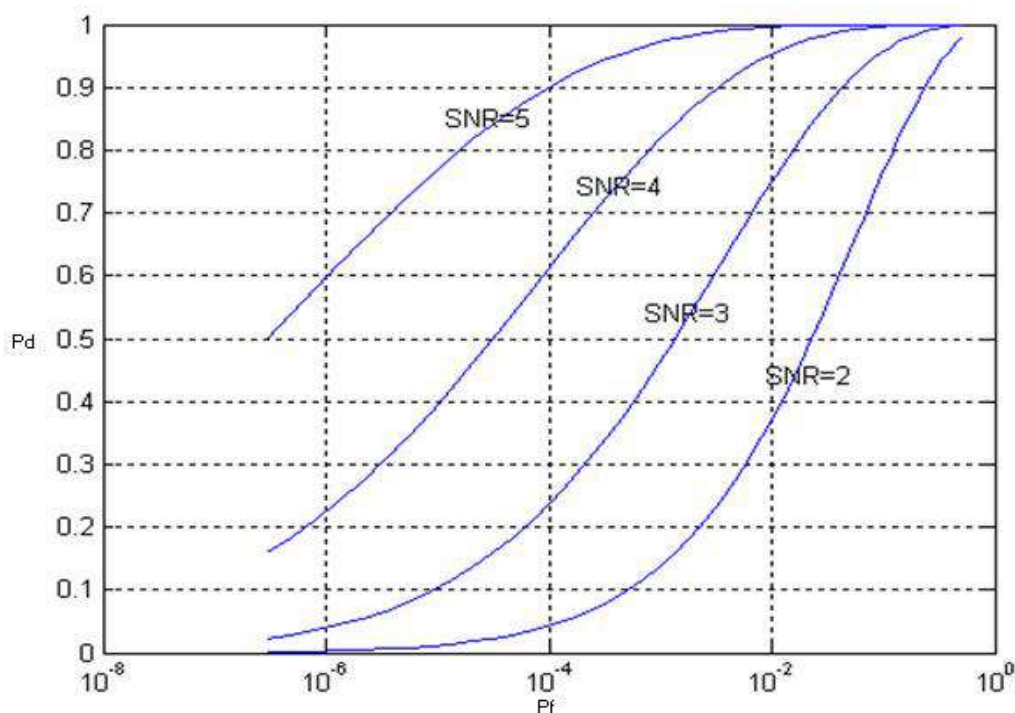
Obrázek č. 16 zobrazuje vztah P_f a SNR_{th} rovnicí (3.14); vztah P_d a SNR_{th} , SNR rovnicí (3.16) je zobrazeno obrázkem č. 17; vztah P_f , P_d a SNR je zobrazen na obr. č. 18). [9]



Obr. 16



Obr. 17



Obr. 18

ICCD Model detekční vzdálenosti

Detekční vzdálenost ICCD je extrémně důležitým indexem přímého detekčního principu. Z rovnice (3.9) víme, že detekční vzdálenost R je určena SNR. SNR je korelací mezi pravděpodobností detekce a falešné detekce dle rovnic (3.14) a (3.16). Pokud je požadovaná maximální pravděpodobnost falešné P_{fmax} a minimální detekce je P_{dmin} pro detektor ICCD, z rovnice 3.14 vychází: (3.17) [9]

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{SNR_{th}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 1 - \Phi(TSNR) \leq P_{fmax}$$

Kde $\Phi(TSNR) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{SNR_{th}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$.

$$P_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{SNR_{th}-SNR}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 1 - \Phi(SNR_{th} - SNR) \geq P_{dmax} \quad (3.18)$$

$$SNR \geq \Phi^{-1}(1 - P_{fmax}) - \Phi^{-1}(1 - P_{dmin}) \quad (3.19)$$

Rovnice (3.20) je model detekční vzdálenosti s pravděpodobností detekce a pravděpodobností falešné detekce: (3.20)

$$R \leq \frac{\sqrt[3]{\frac{I \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau(R) \cdot \lambda \cdot t \cdot \eta_c \cdot \eta \cdot (\delta^2 - 1)}{4 \cdot \pi \cdot h \cdot c \cdot (6 \cdot \delta^2 - 2)}}}{\Phi^{-1}(1 - P_{fmax}) - \Phi^{-1}(1 - P_{dmin})}$$

Navíc hustota osvitu na CCD záření cíle musí vyhovět požadavku indexu CCD o hustotě osvitu E_{min} , aby se zajistil signál z detektoru. Tedy z rovnice (3.2): (3.23)

$$R = \frac{\sqrt[3]{683 \cdot \pi \cdot I \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau(R) \cdot G_\Phi \cdot V}}{\sqrt{4 \cdot S \cdot E_{min}}}$$

Rovnice (3.23) je základní podmínkou pro detekci cíle detektorem ICCD.

Většina corocamer umožňuje ukládat obrázky do paměti nebo pořizovat i video sekvence. Nalezené závady se ukládají na vyjímatelnou SD kartu. U corocamery UVollé-S je použito filtru s rozlišitelností spektra 250 až 280 nm a minimální citlivostí 2,7 pC na 10 m délky. Díky modernímu provedení a nízké váze lze tuto kameru snadno ovládat i za pomoci pouze jedné ruky. Funkce jsou zobrazovány na LCD obrazovce, ovládání probíhá joystykiem, kterým je přepínání mezi funkcemi značně snadné. Barvu korónové činnosti si obsluha může sama měnit podle okolí a charakteru měřeného prvku. [5]

Kamera umožňuje přesné a věrné zobrazení poruchového místa na základě kvalitní čočky a použití zaslepovacích filtrů, díky kterým je úplně odrušeno sluneční záření za denního používání. Vybavení kamery umožňuje spočítat a zobrazit úroveň UV jevů za daný časový úsek a na základě toho přiřadit kvantifikační kritérium velikosti koróny. [5]

Displej corocamery má rozlišení 240x320 pixelu, což také velice kladně přispívá k dobré lokalizaci závady a částečně i před vyhodnocení v terénu. Minimální citlivost u viditelného spektra má kamera 0,1 luxu. Kameru můžeme používat téměř na neomezenou vzdálenost, ale jediné omezení má v nejmenší možné vzdálenosti, kterou kamera má 0,5m od měřeného objektu. Pro corocameru je sklo neprůhledné a tak nelze tohoto prostředku využít u kabelu ukončených koncovkou se skleněnou nádobou. [5]

3.3. VYZER–Vyhledávač Zdrojů Elektromagnetického Rušení

S tímto přístrojem lze provádět detekci částečných výbojů za provozu měřených prvků rozvodných zařízení. Tato detekce se provádí na zařízeních od 22 kV až po 420 kV, ale v některých případech a za dodržení určitých pravidel je možno provádět detekci už na zařízeních od 6 kV. Detekci částečných výbojů s tímto přístrojem můžeme provádět u zařízení, která nejsou úplně elektromagneticky stíněná a to buď kovovým pláštěm, nebo nádobou. Toto omezení je zapříčiněno detekčními schopnostmi detektoru. [6]

Detektor je navržen, aby byl citlivý na vyzařované elektromagnetické pole. Detekční schopnost detektoru je ve frekvenčním pásmu desítek až stovek MHz. S přístrojem se proto nedá indikovat výbojová činnost uvnitř výkonových transformátorů a dále také u kompenzačních tlumivek s jádrem, které je umístěno v kovové nádobě, protože zde je citlivost velmi nízká. Pokud chceme indikovat částečné výboje na kabelech, můžeme tento přístroj použít pouze k detekci kabelových koncovek a přístupných kabelových spojek. [6]

Zapouzdřené části se dají měřit jen v určitých částech, a to na izolačních předělech a průchodkách. Běžně se s tímto přístrojem měří části transformoven, jako jsou měřicí transformátory proudu i napětí, a to jak induktivní, tak i kapacitní. Dále lze měřit bleskojistky, omezovače, vazební kondenzátory, reaktory, kompenzační tlumivky, ale pouze bez jádra, vypínače, stěnové průchodky a vnější izolační části zařízení. Při měření na kabelových koncůvkách a zapouzdřených částech je vhodné tuto detekci kombinovat i s jinými metodami, aby bylo zabráněno záměně výbojové činnosti. Například v kabelové koncovce s výboji v kabelu, jejichž charakteristické vlastnosti se mohou šířit od místa vzniku, směrem ke kabelové koncovce. [6]

Výhodou tohoto detektoru je velmi dobrá schopnost lokalizovat místo vzniku částečných výbojů, ale jeho přesnost závisí na vysokofrekvenční elektromagnetické otevřenosti nebo uzavřenosti měřeného prvku elektrického zařízení. Záleží, jak silnou má dané zařízení izolaci a jak jsou masivní stínící kovové pláště na něm umístěné. Protože je tím velmi ovlivněna schopnost průchodu vysokofrekvenčního elektromagnetického záření. [6]

Pro změnu citlivosti detektoru se používá výměnných antén majících různé délky, přičemž největší je nejcitlivější a nejmenší má citlivost nejnižší. Používá se cca 8 velikostních druhů antén, jejich citlivost se pohybuje od cca 20 pC u největší až po 1500 pC u nejmenší. [6]

Popis přístroje

Tento přístroj se skládá ze dvou částí, a to detektoru a vyhodnocovače. Jako součást vyhodnocovače byl zabudován i monitor. Při měření se nachází detektor na vrchní části izolační tyče. Vyhodnocovač je umístěn na spodní části tyče, tyto dvě části jsou mezi sebou spojeny pomocí optického kabelu. Detektor Vyzer II byl navržen, aby za běžných teplotních podmínek vydržel plnit svou funkci minimálně 8 hodin bez potřeby dobíjet vnitřní akumulátory. Při snížení teploty je detektor schopen bez omezení své funkčnosti pracovat až do 0 stupňů celsia. Blokové schéma funkce přístroje je umístěno níže. [6]

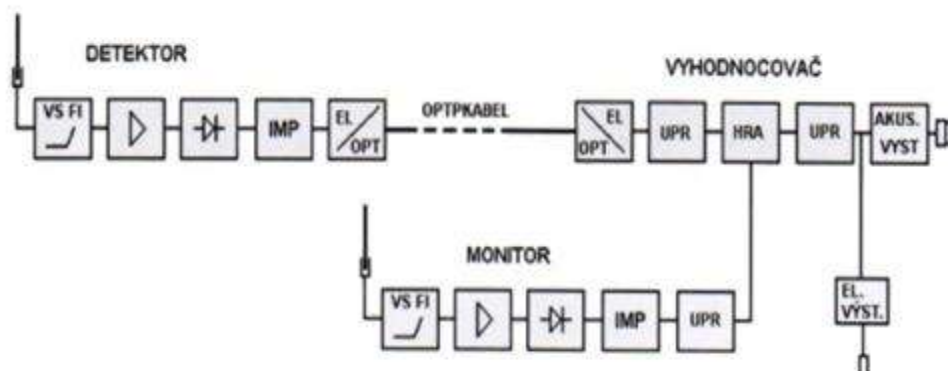
Způsob činnosti

Na vstupu detektoru se nachází anténní pahýl, jeho signál je následně převeden frekvenční propust potlačující nízké kmitočty pod 50 MHz. Vysokofrekvenční signál se zesiluje v zesilovači a pak je usměrněn v detektoru s rychlou časovou konstantou. Dále pokračuje signál k impedančnímu přizpůsobení a následně je tento signál převáděn v převodníku na optický signál. Od tohoto bloku je signál přenášén po optickém kabelu do bloku, kde je signál převáděn zpět na elektrický. [6]

Díky tomuto přenosu je signál přiveden do spodní části neboli vyhodnocovače. UPR blok nám upraví časový průběh signálu a ten se přivádí na hradlo HRA. Hradlo je řízeno upraveným signálem z monitoru. Monitor má téměř stejné obvodové řešení jako detektor a je obsažen ve vyhodnocovači, kde slouží ke snímání rušivých signálů z okolí. Z tohoto důvodu by na vstupu monitoru mělo být vždy použito většího pahýlu než na vstupu detektoru. [6]

Pokud monitor zaznamená rušivý signál, uzavře vstup vyhodnocovače, tím zablokuje signál z detektoru a dojde k jeho odrušení. Tím je zaručeno propuštění pouze měřeného signálu. Posléze je signál přiveden na reproduktor, z kterého je výstupem zvuk charakterizující částečný výboj. Před reproduktorem se ještě nachází odbočka na elektrický výstup, který je zakončen BNC konektorem. [6]

Tento konektor se používá k připojení přístrojů sloužících k dalšímu zpracování, jedná se například o osciloskop nebo záznamové zařízení. Optokabelem jsou z detektoru do vyhodnocovače přenášeny velmi úzké impulsy pohybující se kolem 500 ns. Pokud je snímán signál částečného výboje z měřeného zařízení, vybudí se pouze detektor na horním konci tyče, nikoli detektor umístěný na spodní části. [6]



Obr. 19: Blokové schéma detektoru Vyzer II

Spodní detektor je umístěn zhruba 4 m pod vrchním a celková délka tyče je 6 m. Bránu propusti signálu lze plynule regulovat pomocí otočného knoflíku nacházejícího se na čelní straně spodního dílu.[6]

Při připojení osciloskopu lze sledovat změnu frekvenční charakteristiky při otevírání a zavírání propusti. Při běžném požívání přístroje je výstupem akustický signál, u tohoto výstupu je patrná funkce brány při jeho otevírání a zavíráním změnou výstupního akustického signálu. Prakticky se této brány využívá při měření na zařízení, kdy dochází k zarušení detektoru, provede se zesílení tedy přivření brány, která následně zablokuje rušivé signály, ale naopak signály částečných výbojů jsou propouštěny. [6]

Tabulka: citlivosti jednotlivých anténních pahýlů

Zařízení	Prahová citlivost (pC)
Venkovní izolace	20
Stěnové průchodky	30-50
Bleskojistky, omezovače	30-50
Vypínače	50-80
Suché reaktory	50-100
Suché kompenzační tlumivky	50-200
Kabelové koncovky	50-300
Přístrojové transformátory proudu	200-500
PTN- induktivní	400-700
PTN- kapacitní	500-1000
Vazební kondenzátory	800-1500

3.4. Termovize

Pod pojmem termografie si můžeme představit metody, které slouží k zobrazování teplotních polí na povrchu snímaných těles (dochází k rozložení povrchových teplot) to je reprezentováno energií a hustotou fotonů emitovaných z povrchu snímaného tělesa a jeho vyhodnocením (kvantifikací). Techniku používající k IČ termografii lze užít k zobrazení pro oko neviditelného IČ záření vyzařované z objektů (neboli jedná se o určitý transformační systém) a to v závislosti na jejich tepelných stavech. Efektivním nástrojem nekontaktní IČ termografie je technika zvaná termovize neboli infratechnika.

Termografický systém se vzhledově velmi podobá videokameře s tím rozdílem, že zobrazuje tepelné vyzařování objektů většinou ve standardní televizní obrazové frekvenci. Termovizi můžeme také popsat jako systém transformující informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu v infračerveném spektru na obraz viditelný lidským okem. Dokonalejší ič kamery jsou schopny nejen zobrazovat teplotní pole objektů zpravidla jejich povrchů, ale umožňují tato pole kvantifikovat (neboli je možno teploty těchto polí vyhodnocovat) a to u dnes již běžně dostupných systémů v teplotním rozsahu až od -40 °C až do + 2000 °C s obrazovou frekvencí až 50 Hz. Vlastní zobrazení tepelného pole neboli termogram může být buďto černobílé nebo pseudo barevné. [7]

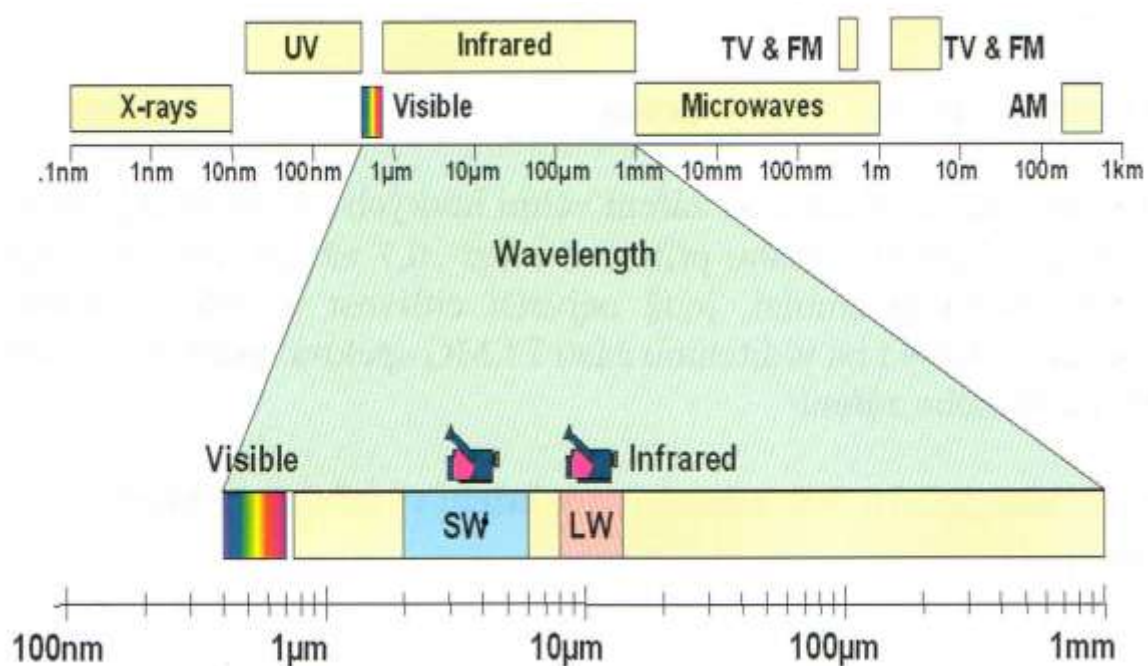
Zářivá energie může být v infračervené části spektra generována třemi typy zdrojů:

- luminiscenční zdroj
- radiovými zdroji
- tepelnými zdroji

Tepelné zdroje jsou takové zdroje, které generují zářivou energii, která je hrazena na úkor jejich tepelné energie, to znamená rotačně vibračních kmitů jejich atomů a molekul. Infračervené záření generuje veškerá hmota, jejíž teplota je vyšší, než absolutní nula 0 K. Zdrojem tepla je tedy každý objekt s teplotou, která je vyšší než 0 K. Přenos tepla z tělesa nebo i na těleso se děje prostřednictvím radiace čili dochází k sálání v IČ části elektromagnetického spektra. Signální radiační tok, který můžeme nazvat tepelné záření je reprezentován tokem fotonu v infračervené části spektra a jeho velikost u každého objektu závisí zejména na teplotě objektu, při zvýšení jeho teploty rychle roste celková intenzita zářivého toku a naopak. [7]

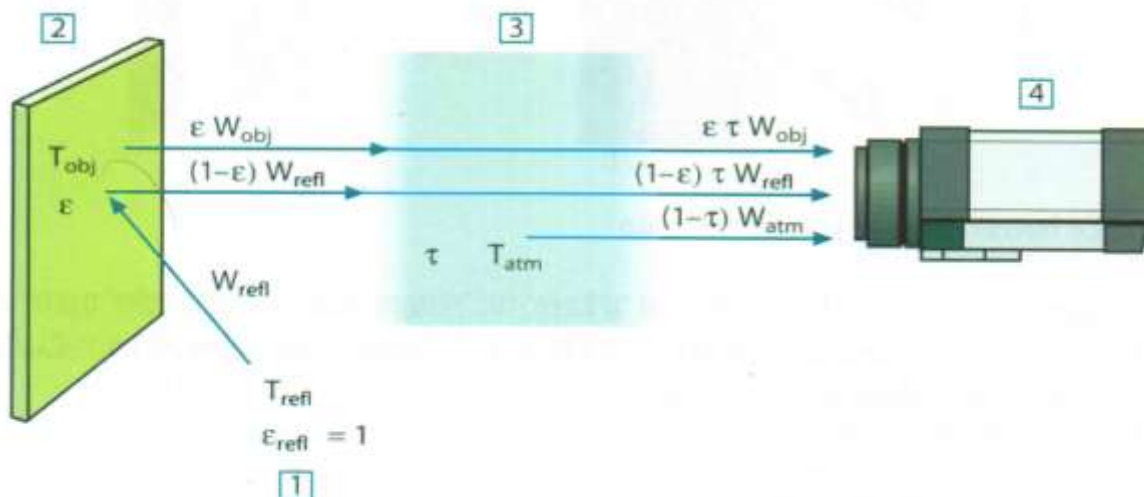
Výsledným zobrazením infračerveného zobrazovacího systému je termogram, který zobrazí teplotní pole na povrchu objektu. Jedná se o zobrazení distribuce fotonového toku na IČ z povrchu zaměřovaného objektu.

Infračervené záření je neviditelná část elektromagnetického spektra, projevující se tepelnými účinky. Jedná se o záření s vlnovou délkou v rozsahu 0,78 μm až 1 mm. Jedná se o oblast nad viditelnou částí elektromagnetického spektra. Okem viditelná část tohoto spektra se nachází v rozmezí přibližně od 0,38 po 0,78 μm . Pro názornost je níže uveden obrázek elektromagnetického spektra.



Obr. 20: Elektromagnetické spektrum

Zářivá energie, kterou vysílá povrch tělesa určitou plochou za jednotku času, se nazývá zářivým tokem nebo výkonem, tento výkon přenášený zářením, má označení P nebo Φ a jeho jednotkou je W . Intenzita vyzařování M v daném bodě povrchu je podíl zářivého toku, vycházející z elementu povrchu a plochy tohoto elementu. Na obrázku níže je zobrazen základní měřicí řetězec. [7]



Obr. 21: Základní měřicí řetězec

- 1- Okolí měřeného tělesa
- 2- Vlastní měřené těleso
- 3- Atmosféra mezi měřeným tělesem a měřicím systémem
- 4- Měřicí systém

Do měřicího systému ve své podstatě vstupují tři zářivé toky. Záření od měřeného objektu, jehož intenzita je úměrná emisivitě ϵ , které při průchodu atmosférou se součinitelem propustnosti τ . Odrážející se záření od povrchu měřeného objektu nazýváme odražená zdánlivá teplota. Třetím zářivým tokem je záření atmosféry. [7]

Zobrazovací termografické systémy

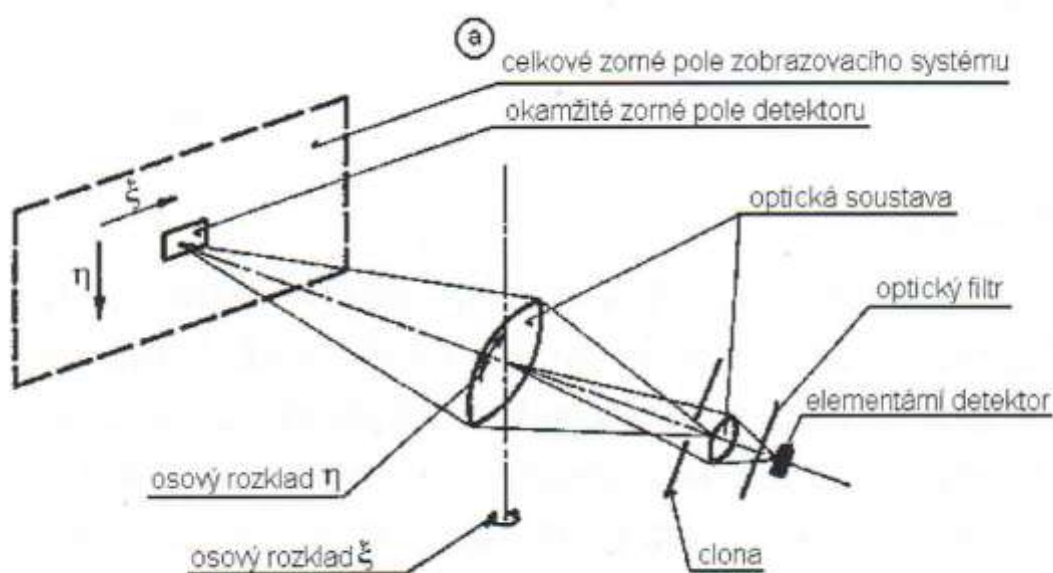
Tyto systémy lze dělit podle jejich principu funkce, dle spektrálního pásma, nebo podle způsobu použití. Principy funkce jsou v zásadě dva a to systém s opticko-mechanickým rozkladem obrazu nebo FPA detektory. Kamery pracují ve spektrálních pásmech (NIR, MW, LW). Dle způsobu použití to jsou systémy přenosné a pro pevné aplikace.

Systémy NFR se používají v kunsthistorii, těmito systémy můžeme pomocí spektrálních filtrů zobrazit např. podmalby u obrazů. Systémy MW radiometrické, tyto systémy umožňují kvantifikaci teplotních polí. Používá se celá řada spektrálních filtrů. Systémy MW neradiometrické, tyto systémy umožňují kvalitativní zobrazení plynů či jejich míst úniku. Využívá se skutečnosti, že celá řada plynů, které jsou uváděny jako těkavé uhlovodíky, v určitých vlnových délkách je jejich propustnost velmi malá.

Pokud je tento systém osazen úzkopásmovým spektrálním filtrem, který propouští pouze vlnové délky, kde plyny nejsou transparentní, pak můžeme tento plyn zobrazit jako kouř nebo obláčky. Tento systém neměří teplotu plynu, ale kvalitativně ho zobrazují. Systémy LW mají podobnou funkci a využití jako systémy MW neradiometrické. [7]

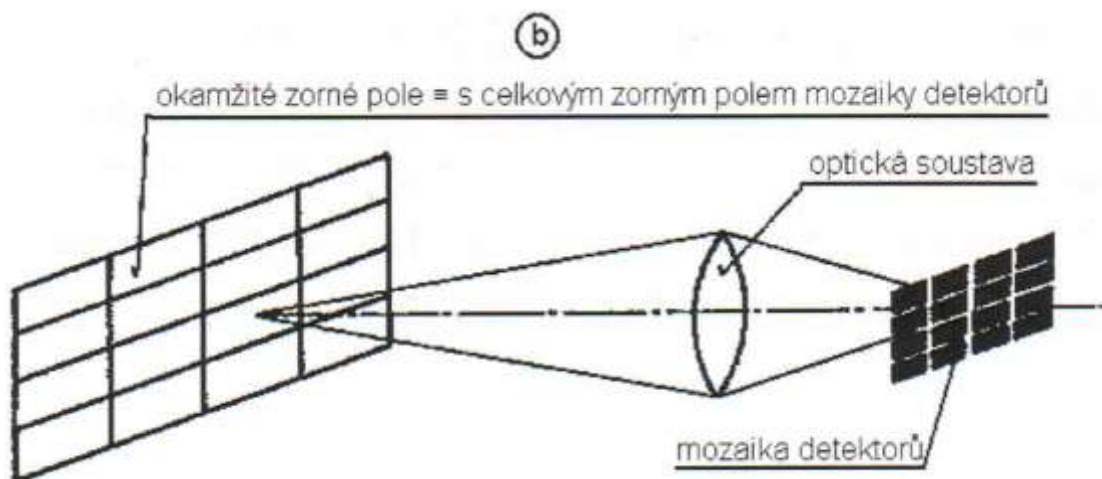
Na obrázcích číslo 22a, 23b, 24c, jsou přiblíženy tři základní způsoby vytváření obrazu u termografických zobrazovacích systémů. Na obrázku 23a je přiblížen opticko-mechanický systém, kdy je nejprve vytvářen v jednotlivých bodech, ze kterých se skládá řádek a následně potom obdobně je vytvářen po jednotlivých bodech obraz v dalších řádcích. Snímaná plocha se rozkládá na jednotlivé body složené do řádků, ze kterých je potom složena plocha. Tento systém se někdy nazývá jako systém s postupným zaváděním vstupní informace a jejím postupným vyhodnocením.

V případě použití opticko- mechanického rozkladu obrazu je snímání jednotlivých bodů objektu řízeno optickou clonou. Okamžité zorné pole se postupně zaměřuje na všechny body měřeného objektu. Pohyblivými částmi kamery jako jsou otočné hranoly nebo zrcadla se provede dráha rozkladu. Tohoto systému se již v dnešní době nevyužívá. [7]



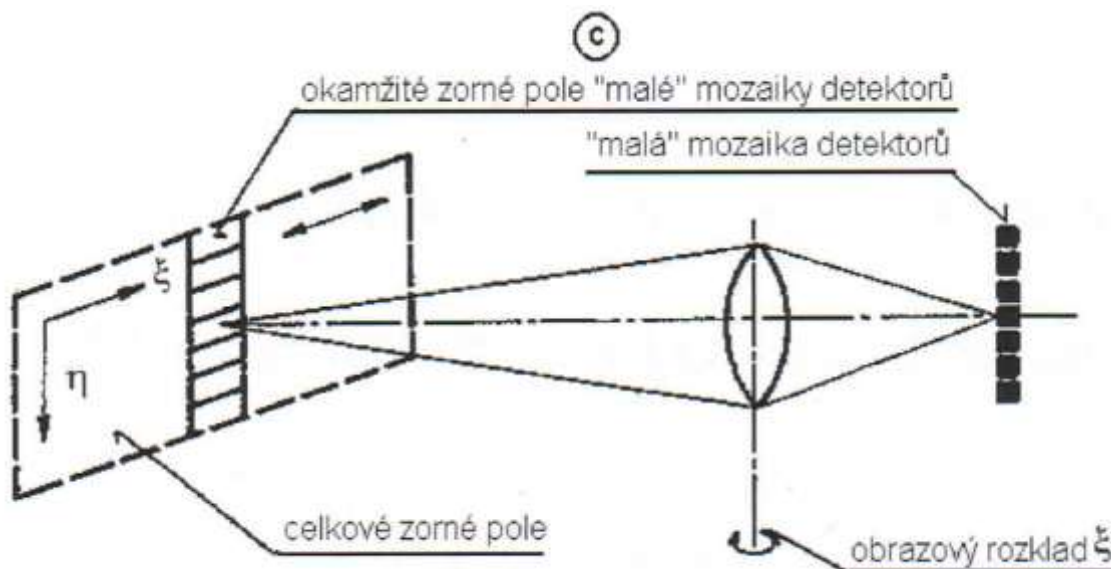
Obr. 22: Opticko-mechanický systém

Na obrázku 23b vidíme systém s mozaikovým detektorem, kde každý pixel detektoru, se svým zorným polem snímá určitou část snímané plochy, kterou následně zobrazí jako jednu část plochy. Jelikož tyto systémy pracují v reálném čase snímací neboli obrazová frekvence je 25 nebo 50 Hz a pokud má detektor dostatečnou hustotu pixelů, vytváří se termografický obraz. Termogram s dostatečným rozlišením se skládá z informací jednotlivých pixelů. Tento systém se nazývá systémem se současným zavedením vstupní informace a jejím současným vyhodnocením. [7]



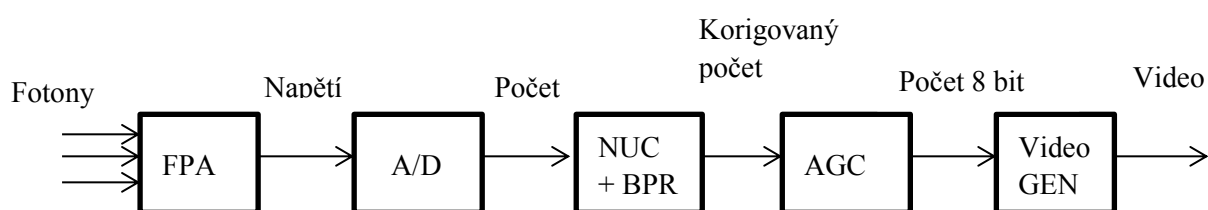
Obr. 23: Systém s mozaikovým detektorem

Na obrázku 24c je zobrazen systém se smíšeným zaváděním vstupní informace a jejím smíšeným vyhodnocením. Takový systém je osazen sloupcovým detektorem a pomocí rozkladového prvku obrazu je tento sloupec virtuálně rozmítán po řádku nebo detektor řádek, který je naopak rozmítán do sloupců. Výsledkem je obraz, který zobrazuje plochu.



Obr. 24: Systém se smíšeným zaváděním vstupní informace

V dnešní době se používají výhradně systémy s maticovými mikrobolometrickými nebo kvantovými detektory. Tyto detektory jsou v provedení chlazeném nebo nechlazeném. Zářivý tok měřeného objektu je pomocí vstupní optiky zaostřen na detektor. Do optické cesty mezi objektiv a detektor se vkládá shutter neboli clonka, která slouží k homogenizaci signálu z jednotlivých pixelů mozaikového detektoru. Do optické cesty je také možno vložit vysokoteplotní nebo spektrální filtr. Vysokoteplotní filtr slouží k rozšíření rozsahu měřených teplot. K chlazení se využívá stirlingova chladiče, který je hermeticky uzavřen s využitím dvou pístů a plynného helia. Využívá se principu kompresorové chladničky nebo peltierova jevu. Signál se zpracovává přímo na čipu prostřednictvím multiplexerů a 14-bitových A/D převodníků v každé řádce matice. [7]



Obr. 25: Základní elektrické schéma

FPA- Maticový detektor konvertuje dopadající IČ fotony na elektrony.

ROIC- Upravuje signál každého pixelu.

A/D- Analogové napětí je digitalizováno na 14-bit nebo 12-bit v A/D převodníku.

NUC + BPR- Zisk a korekce odchylek. Jsou použity pro kompenzaci pro nerovnoměrnosti detektoru a pro odstranění poškozených dat pixelu.

AGC- Algoritmy automatického řízení a kontroly zisku. Jsou použity pro redukování dat na 8-bitový formát pro generování videosignálu.

Video GEN- Video signál PAL/NTSC, je generován z 8-bit dat.

Každý FPA detektor obsahuje několik desítek tisíc jednotlivých pixelů, tyto pixely by měly být naprosto stejné. Měly by mít stejnou převodní charakteristiku signálu reprezentované zářivým tokem na elektrický signál. Kdyby tomu tak nebylo, pak by každý jednotlivý pixel vyhodnocoval jinak stejnou vstupní informaci. [7]

V určitých případech je možné k vyhledávání ČV použít termokamery. Tohoto měřidla lze výhodně využívat k dohledání místa vzniku ČV, neboť jak již bylo zmíněno dříve, ČV se projevují svými charakteristickými jevy. Jedním z nich je právě lokální oteplení v místě průběhu ČV, toto oteplení bývá ve většině případů do cca 5 °C. Toto oteplení je viditelné jako prstenec na měřeném prvku nebo jako malá ploška.

4. Měření částečných výbojů

Částečné výboje se projevují za pomoci různých veličin, a proto je potřebné provádět měření kombinací různých metod. Využívají se metody elektrické i neelektrické, každá z těchto metod má svoje výhody, ale bohužel i nevýhody. Proto je důležité před každým měřením provést analýzu měřeného objektu, a na tomto základě zvolit nejefektivnější metodu a postup měření, aby byla zaručena předepsaná přesnost a objektivita.

4.1. Principy metod

Neelektrické metody měření částečných výbojů

Těchto metod se využívá na základě charakteristických projevů výbojů, jako jsou optické, chemické a zvukové. K těmto měřením se využívá speciální měřicí technika. Využívá se ultrazvukových detektorů, kamer znázorňujících korónu, nebo termokamery. Neméně důležitou metodou je také chemická detekce. Neelektrické metody se v největší míře využívá k detekci vnějších a povrchových částečných výbojů.

Akustická detekce

Akustická detekce se provádí za pomoci směrových mikrofónů, nebo ultrazvukových detektorů. V některých případech s obzvláště vysokou četností částečných výbojů lze využít i sluchu za předpokladu nízkého šumu z okolí. Částečné výboje produkují mechanické kmity, které se šíří jako akustické vlny do okolí, neboli vzniká takzvaná akustická emise. Tyto emise se šíří přímočaře od zdroje vzniku, ale může docházet i k odrazu těchto emisí, například od stěn v budovách. Akustická detekce se využívá pro lokalizaci výbojů v rozvaděčích s plynnou izolací, nebo u transformátorů, kde jsou zařízení ponořena v oleji, snímače se dají instalovat uvnitř, nebo vně nádoby, a lze tak sledovat dění v nádobě. Ultrazvukových detektorů se hojně využívá k lokalizaci výbojů ve vzduchu například povrchovým výbojům nebo koróny. Tato metoda se obzvláště hodí k nalezení místa vzniku částečných výbojů, a lze ji využívat i jako on-line metodu jak pro krátkodobá tak dlouhodobá měření, lze využít například u transformátorů, kde jsou jiné metody ovlivňovány rušením. [2]

Detekce pomocí kamer

Kamerová detekce se provádí pomocí termovizních kamer a corocamer. Termovizní kamera umožňuje zobrazit na displeji povrchovou teplotu měřeného zařízení. Částečné výboje mimo jiné v místě vzniku produkují lokální oteplení, a tak je v některých případech možná lokalizace za pomoci citlivé termokamery. Výboje se projevují oteplením daného místa většinou pouze o jednotky stupňů Celsia.

Corocamery jsou založeny na principu snímání okolí v UV spektru. Corocamer se používá k vyhledávání částečných výbojů v ultrafialovém spektru.

Vjemová detekce

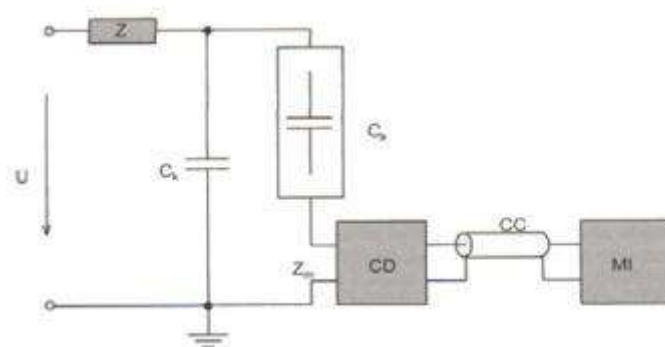
Optickou detekci lze provádět u silné výbojové činnosti za předpokladu, že osoba, která provádí lokalizaci, má již určité zkušenosti s touto problematikou, a tak lze v těchto určitých případech částečné výboje vidět pouhým okem a také je dokumentovat fotoaparátem nebo kamerou. Případy, kdy je možno použít pouhého oka, nastávají v budovách, kde se dá provést zatemnění, místo vzniku výboje se projeví světélkováním.

Elektrické metody měření částečných výbojů

Rozeznáváme dva základní druhy elektrických metod měření a to přímé elektrické metody a nepřímé. Základním principem měření je měření vysokofrekvenční složky proudových impulsů. Tyto impulsy jsou doprovodným jevem působení částečných výbojů. Snímáním těchto pulsů můžeme vyjádřit jejich intenzitu a převést do grafické podoby. Pro přesnější získání dat je vhodné použít filtry k odfiltrování síťové frekvence 50 Hz. Velikost impulsů se liší podle použitého izolačního materiálu. Časové hodnoty jsou také závislé na materiálu.

Přímé elektrické metody

Při použití globální metody se provádí měření v celém zařízení, a sleduje se tak stav izolace. Toto měření probíhá pomocí měřicí impedance, která je realizována RLC členem a na základě, které se sledují impulsy částečných výbojů. Rozlišují se tři základní typy zapojení. První metoda nám umožňuje měřit uzemněné objekty, nebo objekty s velkou kapacitou. Druhá metoda slouží k měření objektů s možností rozpojení zemního přívodu. Třetí variantou jsou můstková zapojení. [2]



Obr. 26: Zkušební obvod se sériovou snímací impedancí [1].

Úzkopásmové systémy

Úzkopásmové měřicí systémy mají malou nebo střední šířku pásma a to v rozmezí 9 kHz až 30 kHz, nebo 50 kHz až 1 MHz. Jejich úzké frekvenční pásmo se pohybuje v rozmezí 10 kHz, rezonanční frekvence se pohybuje od 100 kHz, až po několik MHz. Nevýhodou je, že nelze rozeznat polaritu pulsů. Výhodou je že umožňují pracovat v úzkém frekvenčním pásmu, a na základě toho jsou schopny vyloučit chybu měření z rušivých zdrojů. Využívá se jich hlavně k orientačnímu měření. [2]

Širokopásmové systémy

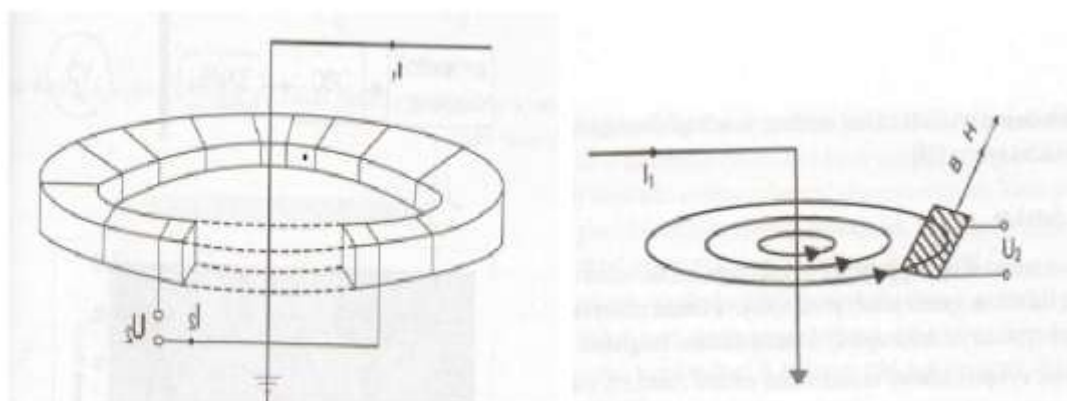
Širokopásmové měřicí systémy využívají pro detekci částečných výbojů zařízení s šířkou přenášeného pásma od desítek MHz až po tisíce MHz, čili využívají velkou šířku pásma. Částečné výboje je možné indikovat ve frekvenčním pásmu od 10 kHz až po více jak 1000 MHz. Těto skutečnosti je využíváno, jak u přenosných přístrojů, tak i v expertních systémech, vyhodnocujících maximální hodnotu částečných výbojů a dále v získání podkladů pro měření expertních systémů ve frekvenční a časové doméně. [1]

Nepřímé elektrické metody

Kapacitní a induktivní snímače měří na základě charakteristických vlastností částečných výbojů, při kterých vzniká v místě výbojové činnosti vysokofrekvenční energie, která je vyzařována do okolního prostoru. Tuto vyzařovanou energii můžeme rozdělit na dvě složky jedna z nich je elektrická a druhá magnetická. Z tohoto důvodu používáme kapacitní a induktivní snímače. Těchto snímačů se využívá hlavně u orientačních měření a uměření metodou on-line. [2]

Induktivní snímače

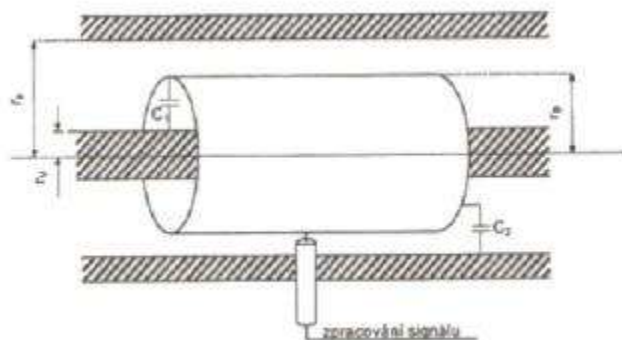
Induktivní snímače pracují na principu, při kterém je snímáno elektromagnetické pole, toto je vyzařováno ze zdroje částečných výbojů. Používají se sondy lineárně induktivní a toroidní. U toroidních sond se používají navzájem magneticky svázané obvody, u kterých prochází vodič (pracovní uzemnění, kabel) středem toroidu. Toroid pak tvoří primární vinutí elektromagnetického obvodu, vinutí sondy je navinuto na toroidu a tvoří sekundární vinutí. Z důvodů zlepšení odrušovací schopnosti se využívá toroidů s malým počtem závitů. Při měření s lineární sondou se využívá stejného principu, ale s tím rozdílem, že je umístěn ve vf elektromagnetickém poli tak, aby jeho podélná osa byla souhlasně orientována s vektory magnetické indukce a intenzity magnetického pole. [1]



Obr. 27: Vlevo zapojení toroidní induktivní sondy, vpravo zapojení lineární induktivní sondy [2]

Kapacitní snímače

Kapacitní snímače jsou založeny na principu snímání elektrického pole, toto pole se vyzařuje z poruchového místa. Rychlost těchto jevů je velice vysoká a pohybují se v řádu nanosekund. Proto musí být zvoleno správných sond, aby bylo zaručeno jejich zpracování. K realizaci kapacitních sond se většinou používá diferenciální zesilovač, za který je řazen další zesilovač, který umožňuje proměnné zesílení. Za tento zesilovač je připojeno zařízení, které zpracovává analogový nebo digitální signál. Nejvíce se využívá snímačů koaxiálního tvaru. [2]



Obr. 28: Schéma kapacitní sondy [1]

Lemke sonda

Lemke sonda snímá pomocí senzoru okolí. Tyto senzory zachycují elektromagnetické pole vyzařované z místa poruchy izolace, toto pole emitují právě částečné výboje. Za použití indukční nebo kapacitní sondy jsme schopni tyto výboje zachytit. Sondas jsou připojeny na vstupu rychlého diferenciálního zesilovače. Vstup tohoto zesilovače potlačuje vlivy cizích rušivých polí. Používá se širokopásmové zesílení a elektronická integrace k vyhodnocení výbojové aktivity. K vyhodnocení a zaznamenání naměřených dat se využívá osciloskopu. [1]

4.2. Provozní měření Č.V.

Měření částečných výbojů probíhá na zařízeních v rozvodnách 110/35 kV, 110/22 kV, spínacích stanicích, a dále na distribučních trafostanicích. Měření vždy probíhá ve dvou stupních, a to hrubá lokalizace závad a následné přesné určení místa vzniku částečného výboje, po tomto určení následuje rozbor závady v kanceláři, z důvodů určení dopadu na spolehlivost tohoto zařízení v provozních podmínkách. Bylo zjištěno, že četnost vzniku částečných výbojů se odvíjí od stáří zařízení od doby, která uběhla od poslední údržbové činnosti, a místě provozování daného zařízení.

Měření částečných výbojů v elektrických zařízeních za provozu se provádí běžně za normálních provozních podmínek, tj. za provozu sítě bez zemního spojení a dalších poruchových stavů, které mohou výrazně ovlivnit symetrii napětí proti zemi. Lokalizace částečných výbojů u elektrických zařízení za provozu je založena na principu měření úrovně elektromagnetického rušení v okolí těchto zařízení, a dále na měření chvění mechanických částí zařízení v ultrazvukovém vlnovém spektru. Frekvenční spektrum měření závisí na konstrukci konkrétního měřicího přístroje a pohybuje se v pásmu 30 kHz ÷ 1000 MHz.

Podle charakteru šíření těchto vln se používají měřicí přístroje se sondami, které pracují na těchto principech:

- induktivní měření elektromagnetického pole v okolí diagnostikovaného zařízení
- kapacitní měření elektrického pole v okolí diagnostikovaného zařízení
- měření chvění mechanických částí zařízení v ultrazvukovém vlnovém spektru se provádí pomocí čidla měřicího na vzdálenost, nebo pomocí snímací izolační tyče přímým dotykem na diagnostikované zařízení

Využití měřících přístrojů dle napětových úrovní

Měření na zařízeních o napětí 110 kV probíhá výhradně za pomoci měřicího přístroje VYZER, ale v některých případech se kombinuje s ultrazvukem i LDP 5. Mezi měřené zařízení patří měřicí transformátory proudu a napětí, svodiče přepětí, vypínače, kabelové koncovky, odpojovače a průchodky.

Měření na nižších napětových hladinách jako je 35, 22, 10 a 6 kV, se provádí ve stejném rozsahu jako u zařízení vvn. S tím rozdílem, že se nejprve provede kontrola pomocí ultrazvukových detektorů. Využívá se digitálního a analogového. Poté následuje kontrola zařízení Lemke sondou LDP 5 s použitím konvertoru UHF/VHF a připojením kapacitní sondy.

V případě nalezení závady, na měřeném prvku (přístroj, koncovka apod.) a vyloučení, že se nejedná pouze o vysokofrekvenční rušení, provede se přesná lokalizace poruchového místa na zařízení v kombinaci s dalšími přístroji LDA 5/30 a corocamery. V některých obzvláště nejasných případech se využívá i přístroje VYZER. Pro všechna tato měření platí, že se jedná o práci pod napětím a práci v blízkosti napětí a je nutné striktně dodržovat bezpečnostní předpisy.

4.3. Online monitoring Č.V.

Do nedávné doby se většina diagnostických měření prováděla za vypnutého stavu neboli off-line. Se vzrůstajícím zatížením elektrických zařízení ve výrobě a rozvodu elektrické energie klesala možnost tato zařízení odstavovat z provozu a provádět tak pravidelná diagnostická měření, přičemž také nebylo možné v tomto stavu zjistit některé potřebné diagnostické veličiny. Proto byly vyvinuty postupy a metody pro měření ve stavu on-line. Velkým přínosem je možnost měřit na zařízení ve svém obvyklém režimu provozu a sledovat toto zařízení nepřetržitě nebo v určitých časových oblastech. Z tohoto důvodu není potřeba provádět simulace chodu na stroji vypnutém. Naměřené hodnoty jsou objektivnější a přesnější vypovídají o stavu měřeného zařízení. Zejména je možné zjistit změnu stavu izolačního systému okamžitě a tak sledovat poruchu v dostatečném předstihu a navrhnout vhodné opatření

Rozlišujeme dvě základní možnosti provádění on-line monitorování. Jednou z možností je provádění měření přenosnými přístroji v periodických lhůtách. Druhou možnost nabízí osazení měřeného zařízení některým systémem pro on-line monitoring, v tomto případě se jedná o trvale připojené snímače, které předávají změřená data systémového PC, kde jsou data vyhodnocována a archivována. PC nemusí být u každého systému přímo umístěn a nahrazuje ho záznamové zařízení nebo zařízení pro bezdrátový přenos dat. K snímání výbojové aktivity se používá zejména kapacitních snímačů, induktivních sond, kapacitních děličů a Rogowského cívky.

Pokud chceme navrhnout metodu on-line měření musíme vycházet ze základních požadavků. Metoda, kterou navrhne, musí být přizpůsobena terénním podmínkám z důvodu měření v provozu. Je nutné, aby bylo potlačeno rušení z provozu a data byla snímána v požadované kvalitě. Při návrhu musíme také dbát, aby se navržená metoda dala aplikovat na požadovaný provozní stav. Osazením měření nesmíme v žádném případě změnit spolehlivost elektrického přístroje. Nesmí být snížena ani jeho bezpečnost. [1]

Při praktickém měření nezáleží příliš na tom, jestli jsou data z měření kontinuální nebo v určitých časových intervalech a zda se vyhodnocování provádí ihned nebo s delším časovým rozestupem. Protože stárnutí izolačních systémů probíhá relativně pomalu. Pokud se, ale jedná o technologickou závadu, můžeme měřit i vyhodnocovat stav izolačního systému s dostatečnou kvalitou a v krátkých časových intervalech.

V terénu se nejčastěji používá on-line systému s trvale zapojenými snímači. Získávání naměřených dat a vyhodnocení se provádí v určitých časových intervalech. Je nutné stanovit tento interval tak aby bylo zajištěno optimální měření. Proto musí zadavatel stanovit meze, v kterých chce provést měření. Je to dáno z důvodu omezené kapacity záznamového zařízení. Technik je pak schopen dle určité praxe nastavit optimální poměr časů a délky záznamů. Jedná se tedy o kompromis mezi délkou záznamu a četností sběru dat. Při tomto sledování zařízení se využívají metody založené na sledování časových změn diagnostických parametrů. [1]

Pokud se rozhodneme osadit zařízení některým měřicím systémem on-line monitorování je velmi důležité vybrat, takový aby byla zajištěna spolehlivost měřičů ČV. Když využíváme dlouhodobých kontinuálních, nebo bezobslužných měření ČV musíme dbát, aby byly splněny následující požadavky. A to zejména, aby použité zařízení bylo odolné vůči vlivům prostředí, mělo dostatečnou spolehlivost a vyhodnocovací zařízení bylo voleno optimálně v poměru cena výkon, neboť ceny jsou na trhu různé a při nevhodném návrhu by se mohl celý systém velice prodražit bez požadovaného výstupu. [1]

Nevýhodou je, že systémy pro on-line diagnostiku jsou zahraniční výroby a proto jsou relativně drahé. Z tohoto pohledu je dobré umísťovat tyto systémy na důležitá místa, kde je nutné sledovat aktuální stav zařízení a nepostačuje pouze měření v periodách dle řádu preventivní údržby. Další nevýhodou poměrně zásadnějšího charakteru je, že tyto systémy zpracovávají impulsy ČV v analogové formě. Tím vznikají neblahé důsledky jako např. stárnutí součástek, posun pracovních bodů, změna charakteristik zesilovačů atd. Z těchto důvodů je nutné snímače ČV v pravidelných lhůtách kalibrovat. Nevýhodou je také to, že jsou navrženy jako jednoúčelové bez možnosti dalších úprav. To je většinou důsledkem analogového zpracování měřených dat a předem dané a neměnné koncepce jejich zpracování.

V dnešní době už jsou dostupné on-line systémy, které provádí přenos dat nikoliv analogově, ale už digitálně. U těchto systémů se používají analogové sondy, za které je vřazen analogově digitální převodník. Což snižuje pořizovací náklady a zvyšuje kvalitu shromažďovaných dat a také umožňuje provedení vyhodnocení v počítači vybaveným vhodnou aplikací. S těmito výhodami lze diagnostické systémy využívat nejenom jednoúčelově, ale s více variacemi dle potřeby měření. [1]

Proti rušení které se šíří z technologie se bráníme pomocí stínění umístěném na vodičích, úzkopásmovým měřením, oddělením, nebo zařazením nízkonapětových či vysokonapětových filtrů, a také konfigurací měřicího obvodu. Musíme zajistit, aby hladina rušení byla výrazně nižší než měřené hodnoty ČV a než velikost kalibračního náboje při kalibraci měřicího obvodu. K potlačení rušivých signálů se používají metody jmenované níže. [1]

- Můstková metoda- která se používá jako základní metoda pro měření v laboratořích
- Metoda pulsní diskriminace- pomocí ní jsou přicházející signály z více míst porovnávány
- Metoda časových oken- časové okno, v kterém probíhá měření je synchronizováno s napájecím napětím a máme možnost měnit jeho velikost i fázový úhel. Jsou zvláště výhodné k odstranění rušení fixovaného na fázový úhel napájecího napětí.
- Matematické metody- tyto metody zpracovávají matematicky digitální signál a to pomocí průměrování hodnot, korelace, digitálních filtrů, analýzy fázového úhlu, statické analýzy, Furierovy a vlnové transformace
- Přenos signálu optickými kabely- dochází k potlačení elektromagnetického rušení při měření a přenosu dat
- Digitalizace signálu- je prováděna co nejbližší snímači a přenos se zpracováním provádět zásadně v digitální podobě což odstraní zkreslení provozním rušením

Vyhodnocení měření je náročným úkolem proto se k němu využívá expertních systému, které jsou založeny na prvcích umělé inteligence. V dnešní době jsou schopny spolehlivě řešit pouze běžné situace.

5. Problematika závad

Degradační účinky ČV vznikají v místech, které jsou takto dlouhodobě namáhané, velký rozdíl je v rychlosti degradace izolačního materiálu, při působení výbojů vnějších a vnitřních. Působení ČV výrazně zkracuje životnost izolačních materiálů.

Je důležité brát v úvahu možnost vzniku částečných výbojů již při konstrukci zařízení, nebo při projektování umístění zařízení, aby byl vyloučen vznik částečných výbojů v důsledku okolního prostředí (například vlhko, mokro), případně malé vzdálenosti živých částí s malými vzduchovými mezerami, probíhá degradační účinek výbojů v těchto vzduchových mezerách.

Dalším faktorem, který ovlivňuje tyto účinky, je prostředí, ve kterém je dané zařízení provozováno. Při provozování zařízení v nevhodném prostředí, působí i povrchové výboje velice nepříznivě na izolační materiál, dochází k degradaci na povrchu, kterou jde v počátku ještě zastavit otřením, nebo ošetřením silikonovým olejem, ale pokud se překročí určitá hranice, stanou se tyto degradační změny nevratnými a musí se zařízení vyměnit.

Pokud nedojde k včasnému zásahu, hrozí průraz izolace a poruše zařízení v důsledku tvorby vodivých cest na izolačních částech. Částečné výboje právě způsobují chemické a fyzikální změny izolantu. Způsobují to dva děje, narážení na stěnu dutiny částicemi, které dopadají na povrch izolantu, a také jak bylo uvedeno výše, zvýšená vodivost povrchu v důsledku vlhkosti a disociovaných produktů ze vzduchu. [1]

5.1. Rozvoj poruchy

Vznik a rozvoj závady můžeme rozdělit do tří základních fází a to na počáteční stádium, rozvoj neboli střední fázi a konečné stádium kdy nastává lavinový efekt. Tyto tři fáze jsou ukázány na obrázcích níže. Tyto obrázky zachycují kabelové koncovky s postupným vývinem degradace jejich izolace vlivem působení ČV.

Počáteční stádium

Počáteční stádium bývá hůře zjištělné. V praxi se toto stádium dá zjistit ve většině případů ultrazvukovými detektory, neboť při praktických měřeních bylo odzkoušeno, že v tomto stádiu ostatní měřicí technika, jako je přístroj LDP-5, VYZER, LDA 5/30, corocamera nebo termokamera nedetekuje buď to žádné ČV nebo jen velmi slabé. V této fázi se v místě zdroje ČV začíná vytvářet prstenec tvořený ionizovaným prachem a slabá oxidace. Tento stav je zachycen na snímku číslo 29. V tomto stádiu ještě nebývá ve většině případů povrch izolačního materiálu narušen a lze tak provést pouze očištění a konzervaci tohoto místa silikonovým olejem. Tento stav po provedení očištění a konzervace vidíme na obrázku číslo 30. K porovnání byly obrázky kabelové koncovky umístěny vedle sebe, aby bylo zřetelně vidět stav před a po provedení údržby.



Obr. 29: Stav před údržbou



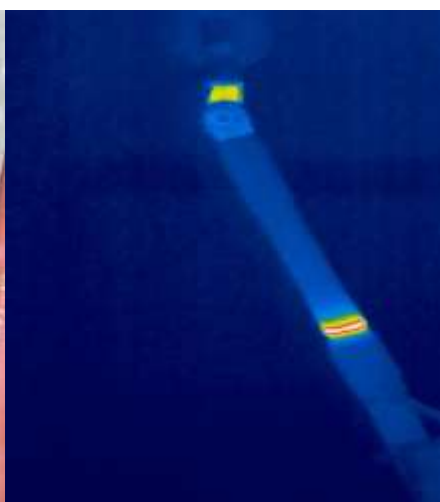
Obr. 30: Po údržbě

Střední fáze

Střední fáze bývá již snadno detekovatelná pomocí veškeré dostupné měřicí techniky. Tato fáze je charakteristická svými projevy, jako je středně silná intenzita ČV nepřetržitého charakteru. V místě působení ČV je vytvořen již kompletní a okem zřetelně viditelný prstenec oxidace. Pokud budeme kabelovou koncovku snímat v tomto stádiu termovizní kamerou, uvidíme zřetelné lokální ohřátí ve tvaru kruhu. Oteplení v tomto místě bývá přibližně okolo 4 °C. Snímek s oxidačním prstencem vidíme na obrázku číslo 31. Snímek z termokamery s viditelným lokálním ohřátím je znázorněn na obrázku číslo 32. V tomto stádiu degradace je již při provedení očištění viditelné narušení povrchu izolačního materiálu, v kterém se začínají tvořit mikroskopické trhliny, nebo materiál ztrácí svou elasticitu a vznikají na něm póry. Takovéto stavy degradace jsou již nevratné.



Obr. 31: Skutečný stav



Obr. 32: Záznam z termokamery

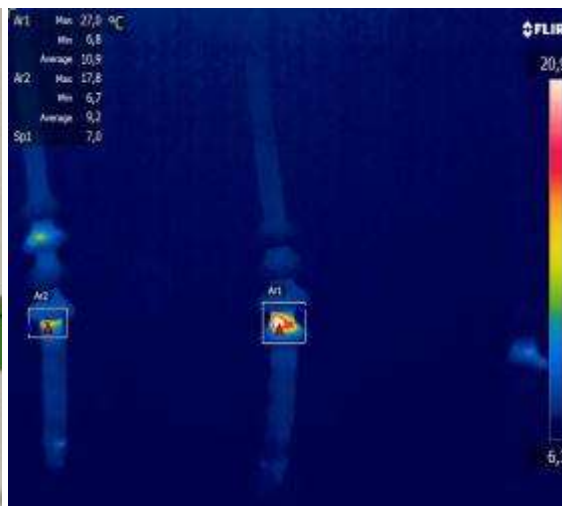
Konečné stádium

Konečné stádium, v tomto stádiu bývá aktivita ČV již tak vysoká, že dochází k vývinu tak silné zvukové emise, že je možné ji velmi silně slyšet pouhým sluchem, tato emise má charakteristický zvuk. Dále se toto stádium projevuje vznikem ozónu v některých případech i silné koncentrace. Je také možné sledovat vizuální emisi, která se dá pozorovat při sníženém osvětlení prostoru, tato emise má svou charakteristickou barvu. Degradace izolačního materiálu je již tak rozsáhlá, že oxidační vrstva mizí a dochází v něm k tvorbě trhlin, a ke změně jeho povrchu. Tento povrch bývá zdrsňený a velmi pórovatý. V některých místech dochází i k zuhelnatění.

Při této fázi mají ČV velmi silnou intenzitu, která má nepřetržitý charakter. Detekci je možné provést všemi dostupnými přístroji. Na snímku číslo 33 je zobrazena kabelová koncovka ve velmi pokročilém stádiu degradace. Při delším provozu tohoto zařízení bude následovat průraz dielektrika a destrukce kabelové koncovky. Pokud budeme provádět snímání pomocí corocamery bude kamera zobrazovat svojí maximální detekční hodnotu. Na snímku číslo 34 je provedeno měření pomocí termokamery, které dokládá, že lokální oteplení v místě degradace je více jak 10 °C.



Obr. 33: Skutečný stav



Obr. 34: Záznam z termokamery

5.2. Výboje v zařízeních

Částečné výboje mohou působit uvnitř nebo na povrchu izolačního materiálu. Z pohledu spolehlivosti jsou více nebezpečné výboje vnitřní. Všechny druhy vnitřních ČV mají destruktivní vliv na izolační systém. Destrukci izolačního systému máme na mysli zkracování životnosti izolantu a snižování jeho elektrické pevnosti až na hranici průrazu. Pokud budeme brát v úvahu ČV vnější, tak tyto výboje zpravidla destruktivní účinky nemají, ale bývají často zdroje vysokofrekvenčního rušení.

Výboje v izolačních materiálech mívají účinky elektro-erozivní, chemické a tepelné. Elektro-erozivní účinky jsou takové účinky, kdy se v dutině izolantu vytvoří oblouk, jehož následkem dochází k vývinu vodivé dráhy. Pokud je intenzita elektrického pole vysoká může koncentrace tohoto pole způsobit v tomto místě elektrický průraz a vodivá dráha se může postupně šířit izolací. Následkem čehož dochází ke zvětšování dutiny a pokračování eroze izolace. Konečným stádiem bývá průraz celé izolace. [2]

Chemické účinky se projevují vznikem ozónu a intenzivní oxidací v dutině za přítomnosti kyslíku. Při vysokých teplotách se z ozónu a oxidu dusíku může vytvářet kyselina dusičná, která působí velmi agresivně na izolaci. Chemickou destrukcí izolantu způsobují i produkty rozkladu některých izolací při výbojích.

Tepelné účinky ČV se projevují tepelnou nestabilitou, protože opakovaným působením ČV se izolační materiál otepluje a tím klesá hladina napětí tepelného průrazu. Již při výrobě izolačního materiálu vznikají uvnitř malé nehomogenity, které mohou být zdrojem ČV. I když jsou ČV relativně málo energetické, důsledky jejich opakování mají škodlivý vliv na izolaci, zkracují její životnost a postupně snižují její elektrickou pevnost až do průrazu izolace. Důsledkem částečných výbojů dochází k lokálnímu přehřátí, degradaci izolace například zuhelnatění, následkem čehož dochází až k destrukci zařízení. [2]

5.2.1. Kabelové koncovky

V této podkapitole jsou znázorněny a popsány diagnostikované závady na nejčastěji používaných kabelových koncovkách používaných u zařízení VN. Jedná se o zařízení jak vnitřní tak venkovní. Napětíových hladin 35 a 10kV.

Při pravidelné kontrole transformovny 110/35 kV proběhla lokalizace vadné kabelové koncovky v části 35 kV. Toto měření probíhalo podle řádu preventivní údržby v dané časové periodě. Bylo použito všech dostupných měřicích přístrojů. Při prvotním ohledání byla zjištěna v poli hromadného dálkového ovládání přítomnost částečných výbojů. Prvotní lokalizace probíhala za pomoci přístrojů LDP-5 (vf detektor) a ultrazvukového detektoru, prvním ze jmenovaných bylo provedeno zjištění o aktivitě výbojů v okolí kabelových koncovek, ale z okolí vrchních přípojníc přicházelo kapacitní rušení středně silné intenzity. Z toho důvodu nebyla možná přesnější lokalizace, při které by bylo možné s jistotou určit, na jaké kabelové koncovce se závada nachází. Ultrazvukový detektor jasně ukázal, ve které fázi se závada nachází, neboť na něj nemají vliv kapacitní výboje (rušení) z technologie vysokého napětí.



Obr. 35: Měřená kabelová koncovka

Pro přesnou lokalizaci místa vzniku bylo využito přístroje VYZER a corocamery. Přístrojem VYZER nejprve proběhlo zběžné ohledání v okolí kabelové koncovky, pak proběhla detekce kapacitních výbojů na vzdálenějších místech technologie, a to ze směru od přípojníc. Přítomnost rušení byla zjištěna, jak nám již napověděl přístroj LDP-5, z toho důvodu proběhlo přivření brány na vstupu Vyzeru a odzkoušení, že přístroj nebude reagovat na toto rušení. Následovalo měření na kabelové koncovce, při kterém se zjistilo místo vzniku částečných výbojů. Při optické kontrole určeného místa byla v tomto místě patrná oxidace. V tomto případě se jedná o povrchové výboje. Tomu napovídá i stav kabelové koncovky, na které byla patrná oxidace. Zatím se tato oxidace nacházela pouze v přední části, ale dá se předpokládat, že se tato aktivita rozšíří i do stran až utvoří kolem místa závady prstenec.

Corocamera zjistila místo vzniku částečných výbojů i graficky a pořídila záznam o této aktivitě. Na snímku z corocamery je patrná nepřetržitá aktivita nízké intenzity ČV. Corocamera zaznamenala částečné výboje, které v tomto stádiu závady dosáhly narušení povrchu izolace koncovky a to tak vysoké úrovně, že došlo k vyzáření velkého množství emise do prostoru a kamera tak byla schopná přesné detekce. Po vyhodnocení všech dat a zjištění bylo rozhodnuto o výměně vadné koncovky. Výměna se uskutečnila podle provozních možností.



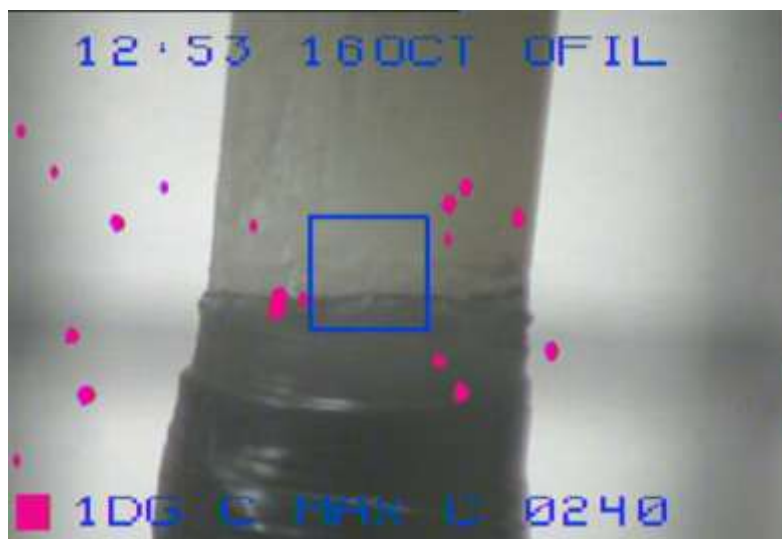
Obr. 36: Snímek z corocamery

Snímek číslo 37 zachycuje kabelovou koncovku s vysokým stupněm intenzity nepřetržité četnosti opakování, počet jevů probíhajících za minutu byl až 2180, v tomto stádiu byly již viditelné degradační stopy na povrchu izolačního materiálu. Na tomto příkladu bylo již také možné provést akustickou detekci pouhým sluchem.



Obr. 37: Kabelová koncovka

Na snímku číslo 38 vidíme, další druh kabelové koncovky. Zde je možné přesně vidět bod se vznikem částečného výboje a to po levé straně záměrného čtverce corocamery mezi izolační páskou a izolačním materiálem kabelové koncovky. V tomto případě kamera zaznamenala nepřetržitou aktivitu střední intenzity. Počet jevů probíhajících za minutu byl až 600, ale z daného snímku nebylo patrné přesné místo vzniku ČV. Tak z důvodů názornosti byl použit průkaznější snímek.



Obr. 38: Pohled corocamerou

Na snímku číslo 39 je zachycen další druh používané kabelové koncovky. V tomto případě se jedná o kabelovou koncovku 10 kV. Tento druh kabelové koncovky je určen pro použití ve vnitřních prostorách. Tato závada byla diagnostikována ve vnitřní distribuční trafostanici, uvnitř skříňového rozvaděče. Z obrázku číslo 40 je jasně patrný degradační prstenec u všech fází. Pro lepší názornost byla pořízena upřesňující fotografie. K prvotnímu ohledání distribuční trafostanice nebylo ani nutné provádět hrubou lokalizaci, neboť již při vstupu do objektu byla zřetelně cítit silná koncentrace vlhkosti a ozónu. Již od vstupu byl jasně slyšitelný charakteristický zvuk ČV. Podle sluchu se dala přesně určit postižená kobka. Pomocí ultrazvukového detektoru byla ověřena správnost poslechové detekce se zaměřením přesných míst vzniku ČV. Dále následovala přesnější lokalizace pomocí další měřicí techniky a provedení záznamu pomocí kamer.

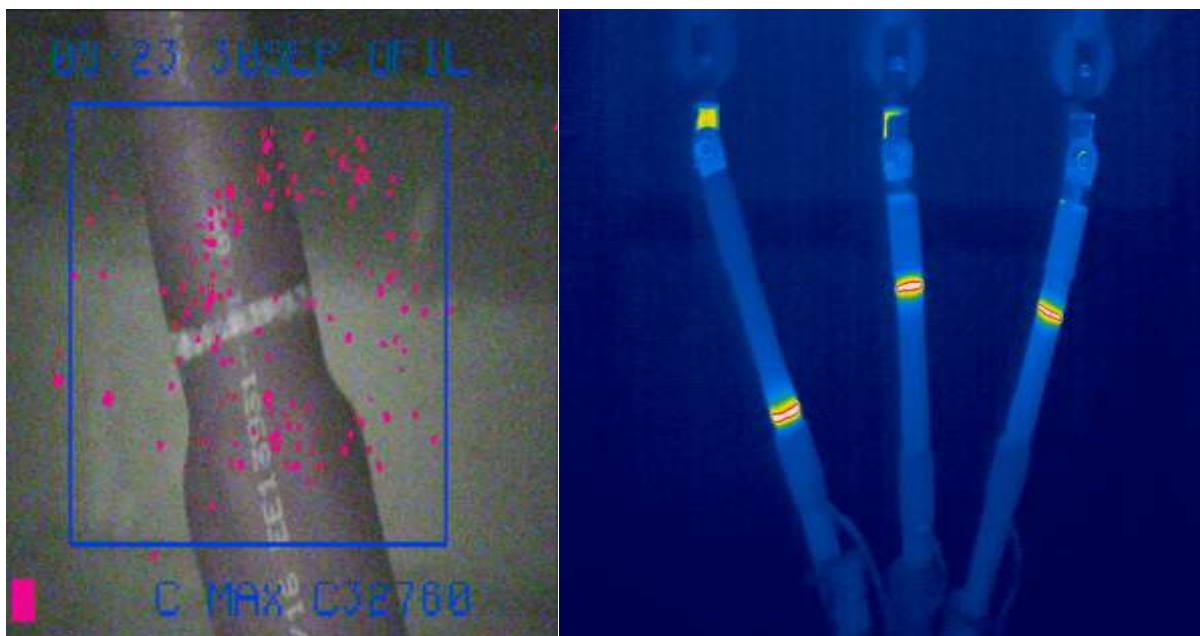


Obr. 39: Záznam z kobky



Obr. 40: Upřesňující záznam

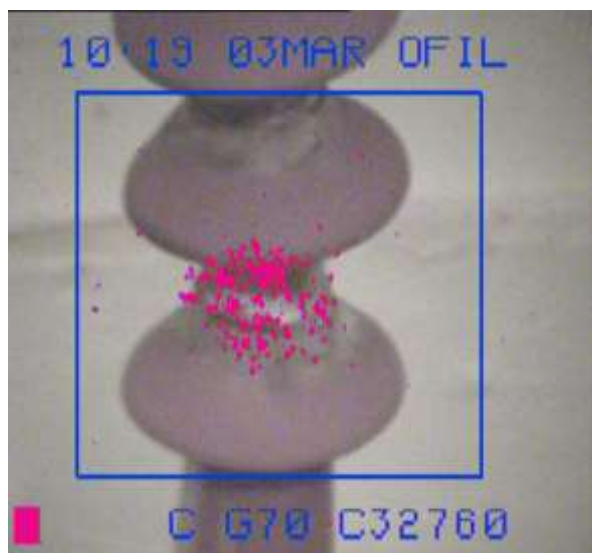
Na obrázcích číslo 41 a 42 jsou znázorněny záznamy z kamer. Záznam z corocamery dokládá, že se jedná o velmi silný zdroj ČV s velmi pokročilým stupněm degradace, neboť intenzita vyzařování vizuální emise je na maximu měřicí schopnosti corocamery. Což je přibližně 32000 jevů za vteřinu. Termokamera nastavená na nejvyšší stupeň citlivosti prokazatelně zachycuje místa oteplení způsobené lokálním ohřevem vlivem ČV. Místní oteplení je, ale pouze v řádu jednotek stupňů. Oba systémy jednoznačně dokumentují přesné místo vzniku ČV.



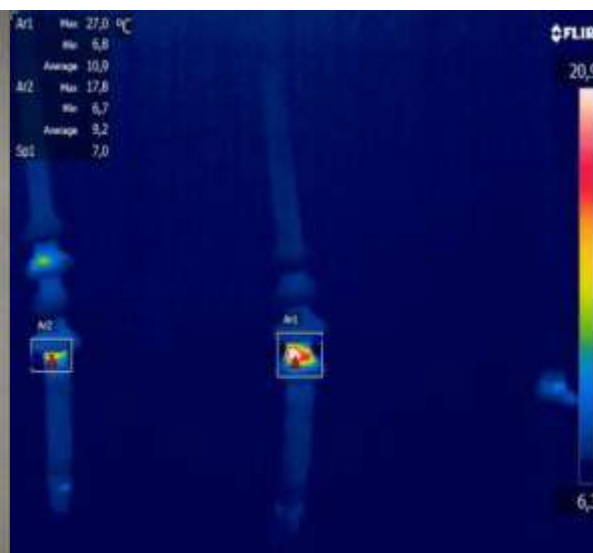
Obr. 41: Záznam z corocamery Obr. 42: Záznam z termokamery

Na snímku číslo 43 je zachycena kobka 35kV v distribuční trafostanici. Při vstupu do této stanice byla cítit velmi koncentrovaná hladina ozonu ve vzduchu a charakteristická zvuková emise ČV vysoké intenzity nepřetržitého charakteru. Při průchodu stanice a poslechu zvukové emise byl opticky pozorován na poškozených koncovech charakteristický vizuální jev, takzvané světélkování namodralé barvy vlivem přeskočkové výbojové aktivity. Po rozsvícení osvětlení uvnitř stanice bylo v místě pozorování vizuální emise na kabelové koncovech zřetelně vidět stav izolace. Izolace této kabelové koncovky se již nacházela v tak pokročilém stavu degradace, že na izolačním materiálu přecházela bílá oxidace v jasně černou degradační vrstvu. Tato vrstva je značně pórovatá s trhlinami v izolaci.

Měřicí technika jednoznačně potvrdila předešlá zjištění. U ultrazvukového detektoru musela být snížena citlivost téměř na minimální hodnotu, neboť již od vstupu do trafostanice, při jeho nastavení na vyšší citlivost byl jeho detektor zahlcen a nebylo tak možné provést přesnou lokalizaci. K dokumentaci této závady byla dále použita kamerová technika. Jak je názorně patrné z přiložených snímků číslo 43 a 44. Jedná se o velmi pokročilé stadium degradace téměř před poruchovým stavem. Snímek z corocamery dokazuje, že se jedná o velmi silný zdroj ČV. Intenzita ČV je na maximu měřicí schopnosti corocamery. Na snímku z termokamery číslo 44 vidíme, že oteplení v místě průběhu ČV je o více jak 10 °C.



Obr. 43: Záznam z corocamery



Obr. 44: Záznam z termokamery

Na obrázku číslo 45 je zachycena starší verze kabelové koncovky. Koncovka je tvořena zalívaným kornoutem tvořeným pryskyřicí. V místě přechodu kornoutu a žíly vodiče vidíme vzniklou oxidaci izolačního překryvu vzniklou dlouhodobým působením ČV. Toto působení již zapříčinilo rozklad izolačního překryvu. V tomto místě byl pozorován při zatemnění doprovodný charakteristický vizuální jev vzniklý projevy ČV. Při snímání kabelové koncovky ultrazvukovým detektorem bylo zaměřeno postižené místo. Použitím další lokalizační techniky, jako byl detektor VYZER a LDA 5/30 byl potvrzen zdroj ČV v již popsaném místě. Zdroj ČV byl v tomto místě velmi silné intenzity nepřetržitého charakteru opakování. Byla doporučena výměna kabelové koncovky v nejbližším možném termínu, protože hrozí havarijní stav. Corocamerou byl pořízen záznam o stavu kabelové koncovky, který posloužil k dokladování této závady. Ze snímku z corocamery je patrné v jakém stavu se kabelová koncovka nachází. Při diagnostice této koncovky, byly provedeny měření při různých atmosférických podmínkách. Tyto podmínky prokazatelně ukázali závislost intenzity projevu ČV.



Obr. 45: Skutečný stav



Obr. 46: Záznam z corocamery

5.2.2. Kabelová koncovka 110 kV

Při pravidelném měření ČV dle řádu preventivní údržby v rozvodně 110 kV došlo k nálezů výbojové aktivity na kabelové koncovce. Měření v rozvodně VVN probíhalo výhradně s měřicím přístrojem VYZER. Průběh měření spočíval v postupném snímání jednotlivých prvků zařízení rozvodny. Při postupném snímání kabelové koncovky došlo ve spodní části této koncovky k indikaci ČV. Jelikož byl zdroj ČV vyšší intenzity a snímání probíhalo s vyšší citlivostí, neboli probíhalo s použitím delšího pahýlu, nebylo možné lokalizovat přesný zdroj ČV. Následně bylo přistoupeno k výměně pahýlu za kratší z důvodu snížení citlivosti detektoru. Po provedení tohoto úkonu bylo možné následným snímáním provést přesné dohledání zdroje ČV. Zdroj ČV se nachází pod první porcelánovou sukýnkou. Na obrázku číslo 47 je zachycena postižená kabelová koncovka. Z obrázku je patrná drobná prasklina pokryta mírnou oxidací. Použití termokamery ukázalo místo lokálního ohřevu přibližně ve stejném místě jako detektor VYZER. Záznam tohoto zjištění se nachází na obrázku číslo 48. Závada byla klasifikována jako středně vážná s doporučením na výměnu v nejbližším možném termínu.



Obr. 47: Skutečný stav



Obr. 48: Záznam z termokamery

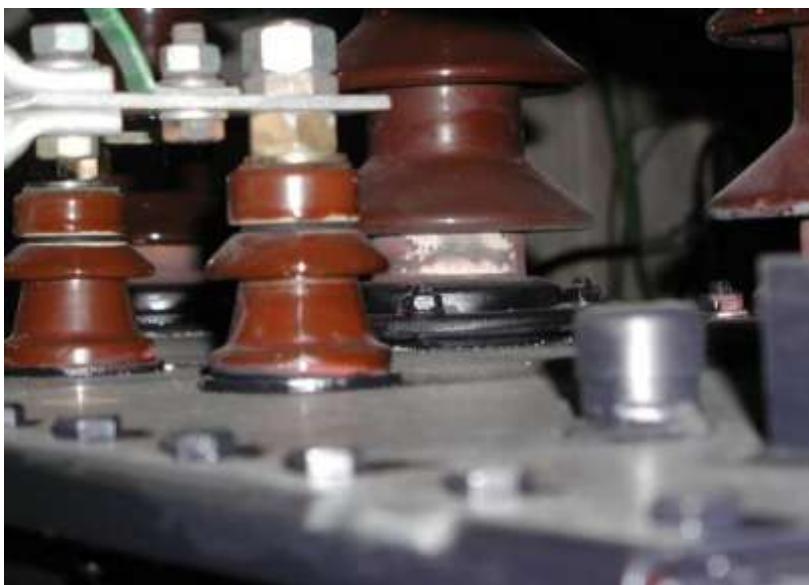
5.2.3. Výkonový transformátor

Na obrázku číslo 49 vidíme zachycené měření ČV na transformátoru BEZ 22/04 kV. Měření probíhalo pomocí ultrazvukových detektorů, měřicího přístroje LDP-5, detektoru VYZER a noční corocamery CoroSMART. Všechny použité měřicí přístroje detekovaly silné zdroje ČV na průchodce transformátoru. Nejsilněji se tyto výboje projevovali, ve spodní části porcelánové průchodky nad ukotvením k víku transformátoru. Z obrázku, je patrná výchylka na detektoru LDP-5 a narušení povrchu průchodky v místě průběhu aktivity ČV. Detektor LDP-5 byl použit v zapojení s kapacitní sondou a konvertorem UHF/VHF. Detekovaná závada je v počátku svého rozvoje, kde je viditelné místo degradace ještě poměrně malé a struktura izolačního materiálu není ještě příliš narušena.



Obr. 49: Provozní měření

Na obrázku číslo 50 vidíme již popsanou závadu, na jiném transformátoru stejného druhu. Zde je již zřetelně patrný rozvoj degradace porcelánové průchodky s jasně narušenou povrchovou strukturou izolačního materiálu. Na této fotografii vidíme v prostřední části degradované průchodky Obrázek číslo 51 pořízeny noční corocamerou CoroSMART dokládá, že v místě degradace izolačního materiálu probíhá intenzivní projev ČV. Tuto aktivitu pozorujeme v pravé a levé části obrázku jako drobné trsové výboje. Dále je možné pozorovat drobné světélkování rovinného charakteru ve spodní části nad přírubou ukotvení porcelánové průchodky k víku transformátoru.



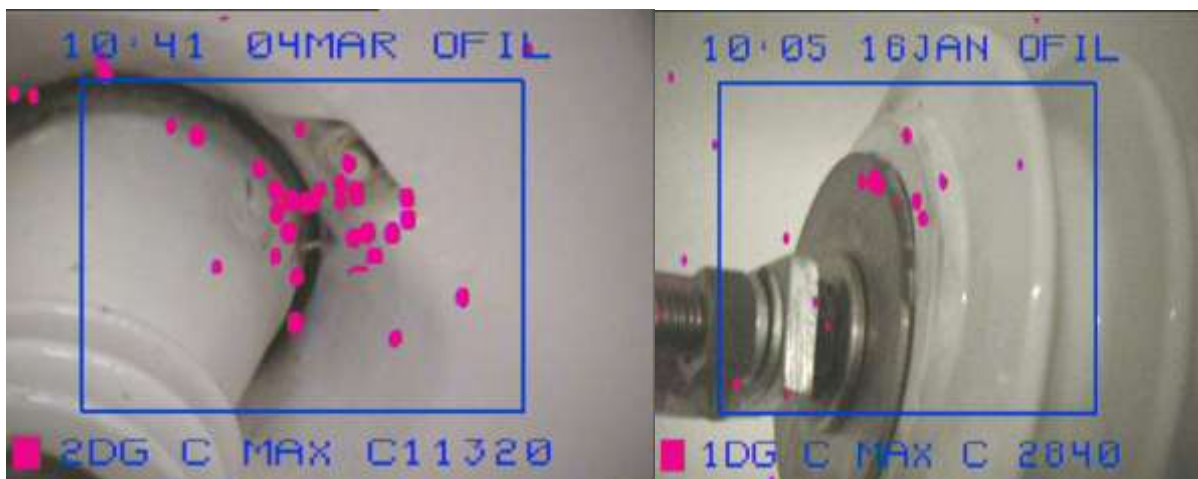
Obr. 50: Skutečný stav



Obr. 51: Záznam z noční corocamery

5.2.4. Průchodky

Na fotografiích číslo 52 a 53 pořízených corocamerou vidíme dva druhy stěnových průchodek. Na snímku číslo 52 je znázorněn starší typ porcelánové průchodek a na obrázku číslo 53 novější. Při měření obou stěnových průchodek bylo využito všech dostupných měřicích přístrojů. Přístroje VYZER, LDP-5 a LDA5/30 neindikovali žádnou aktivitu ČV. Ultrazvukové detektory však indikovali silné zdroje ČV nepřerušovaného charakteru.



Obr. 52: Záznam z corocamery

Obr. 53: Záznam z corocamery

U obrázku vlevo nebylo jednoznačně možné stanovit, jestli se jedná o vnitřní nebo povrchové výboje. Neboť se nedalo určit, zda se v porcelánu nenachází prasklina. Všechny okolnosti a výsledky provedených měření nasvědčovali tomu, že se jedná pouze o výboje povrchové. Bylo doporučeno provádět měření ve zkrácených periodách z důvodu možného vzniku silného zdroje vysokofrekvenčního rušení.

Na obrázku vpravo bylo možné jednoznačně určit, že se jedná o kapacitní výboje, protože bylo viditelné vyosení roubíku oproti porcelánu a corocamera potvrdila, že ČV vznikají ve vzduchové mezeře mezi roubíkem a porcelánem. Bylo doporučeno provést očištění a narovnání roubíku. Tyto povrchové výboje nemají zpravidla vliv na provozní spolehlivost daného zařízení, ale jsou velmi silným zdrojem vysokofrekvenčního rušení.

5.2.5. Zapouzdřená rozvodna 35kV

V průběhu měření ČV na zapouzdřené rozvodně 35 kV došlo k nálezů aktivity ČV. Toto zjištění nastalo při hrubé lokalizaci ČV v této rozvodně. Hrubá lokalizace probíhala za pomoci ultrazvukových detektorů a přístroje LDP-5. Přístroj LDP-5 nedetekoval žádnou výbojovou aktivitu. Oproti němu oba ultrazvukové detektory, jak digitální tak analogový detekovali zvukovou emisi na měřicím transformátoru přes opláštění.

Měřená rozvodna je na obrázku číslo 54 a postižený prvek vidíme na snímku číslo 55. Následné dohledání místa vzniku zvukové emise bylo velmi obtížné proveditelné, neboť možnost přenosu této emise ze zařízení do prostoru byla značně omezena opláštěním měřicího transformátoru. Načež bylo přistoupeno k úpravě ultrazvukových detektorů. Proběhla výměna parabolických antén za příložné snímače. Pomocí této úpravy bylo potvrzeno předešlé zjištění, že zdrojem zvukové emise je měřicí transformátor.

Z důvodu dokonalého odstínění rozvodny nebylo možné použít přístroje VYZER a LDA 5/30. Přesnější specifikaci této emise nebylo možné dostupnou technikou provést. Proto byla firma TMVSS požádána o předvedení magnetické sondy s přístrojem ULTRA TEV+. Měření bylo opakováno přibližně po jednom měsíci i s touto sondou. Měřením bylo vyloučeno, že by docházelo k přenosu chvění na konstrukci. Magnetická sonda potvrdila, že zdrojem je skutečně měřicí transformátor a nejvyšší intenzita se nachází ve středu tohoto prvku. Avšak ani tato sonda nebyla schopna jednoznačně určit, zda se jedná o důsledek ČV nebo pouze o chvění vnitřních částí měřicího transformátoru.

Bylo doporučeno, aby proběhla výměna měřicího transformátoru a aby po této výměně byl tento měřicí transformátor předán technikům k provedení dalších zkoušek.



Obr. 54: Zapouzdřená rozvodna 35kV



Obr. 55: Měřicí transformátor

5.2.6. Přístrojové transformátory proudu

Závada na měřicím transformátoru proudu. Jak již bylo zmíněno, v těchto případech se jedná o měření vnitřních částečných výbojů a možnost lokalizace závisí na schopnosti emise vyzařit se do prostoru. Můžeme také vidět, že měření neprobíhá po celé ploše měřicího transformátoru, ale je směřováno na spodní část, ve které se nachází vzduchová mezera.



Obr. 56: Snímek měřicích transformátorů

U tohoto příkladu nemůžeme provést přesnou lokalizaci, ale můžeme se domnívat, že ohnisko vzniku ČV se nachází uvnitř transformátoru. Na spodní části transformátoru probíhala nepřetržitá aktivita střední intenzity. Z obrázku číslo 56 je patrné, že počet jevů probíhajících za minutu je 2520.

Prvotní měření probíhalo pochůzkou mezi jednotlivými poli venkovní rozvodny 35 kV. K tomuto měření bylo použito ultrazvukového detektoru a přístroje LDP-5 s kapacitní sondou. O místech ve kterých byly lokalizovány zdroje ČV byl proveden záznam. Dle předešlého záznamu následně proběhlo bližší ohledání pomocí přístrojů VYZER a LDA 5/30. Kombinací této měřicí techniky bylo stanoveno místo vyzařování emise ČV z měřicího transformátoru do okolního prostoru.

Ke zdokumentování a záznamu četnosti výbojové aktivity posloužila corocamera. Na obrázku číslo 56 vidíme aktivitu střední intenzity a na obrázku číslo 57 je již intenzita velmi vysoká a nachází se na maximální hodnotě snímání corocamery. U měřicího transformátoru se střední intenzitou ČV stačí provést výměnu dle provozních možností, ale u měřicího transformátoru s vysokou intenzitou je nutné provést výměnu v nejbližším termínu.



Obr. 57: Záznam z corocamery

Na obrázku číslo 58 vidíme měřicí transformátor proudu, na kterém následkem dlouhodobého působení ČV došlo k destrukci vrchního krytu. Z obrázku jsou zřetelně patrné oxidační skvrny na jeho vnitřním plášti.



Obr. 58: Skutečný stav

Měřicí transformátor proudu, který vidíme na obrázku číslo 59. Tento měřicí transformátor je určen k vnitřnímu použití. V jeho střední části na pravé straně je patrná degradace jeho povrchu, která vznikla dlouhodobým působením ČV. Částečně se na této degradaci podílel i vliv okolí. Zejména vysoká vlhkost. K měření na tomto prvku bylo využito přístroje LDP-5, VYZER a ultrazvukových detektorů.

Přístrojem VYZER proběhlo snímání okolo celého pláště měřicího transformátoru. ČV byly detekovány okolo středu oxidační vrstvy s vysokou intenzitou a četností. Stejně zjištění potvrdili i ultrazvukové detektory. Přístroj LDP-5 indikoval pouze střední intenzitu průběhu ČV. Při kontrole termokamerou se ukázalo, že v místě oxidační vrstvy se nachází lokální oteplení přibližně o 3 °C. Měřicí transformátor byl doporučen k okamžité výměně.



Obr. 59: Skutečný stav

5.2.7. Vypínače

Na obrázku číslo 60 vidíme vypínač výrobce ABB typu VF. Vypínač je určen k vnitřnímu použití. K diagnostice toho vypínače bylo použito ultrazvukových detektorů, přístroje VYZER, LDP-5 a LDA 5/30. Pomocí ultrazvukových detektorů byla provedena diagnostika se zjištěním místa vývinu nejsilnější zvukové emise. Tato emise se nejsilněji projevovala na hraně izolačního krytu prostřední fáze.

Přístroj LDP-5 v zapojení s kapacitní sondou a konvertorem UHF/VHF nesignalizoval žádný zdroj ČV. Po změně zapojení, při kterém byl odpojen konvertor již indikoval ČV přibližně ve stejném místě jako ultrazvuk, ale s menší přesností lokalizace a nižší intenzitou.

Přístroj LDA 5/30 také potvrdil předešlé zjištění. Pomocí přístroje VYZER proběhlo nejpodrobnější snímání jednotlivých částí vypínače. Při snímání v okolí jednotlivých krytů komor byly zjištěny zdroje ČV na všech krytech komor, přičemž nejsilnější byl na prostřední fázi v místě, které již určila předešlá technika.

Při snímání vypínače přístrojem VYZER bylo jasně slyšet nárůst intenzity ČV při přibližování se vrchní sondou od konců degradačních skvrn směrem k rohům krytu komor. Z obrázku je zřetelně viditelná oxidace ve tvaru stromečků. Po odstavení vypínače z provozu a provedení očištění oxidační vrstvy na přední izolační desce, bylo vidět narušení struktury materiálu s poměrně hlubokými póry. U krytu komor byla situace ještě horší. Na krytu střední fáze došlo tak k masivní erozi, že se zde nacházel otvor průměru 1cm.



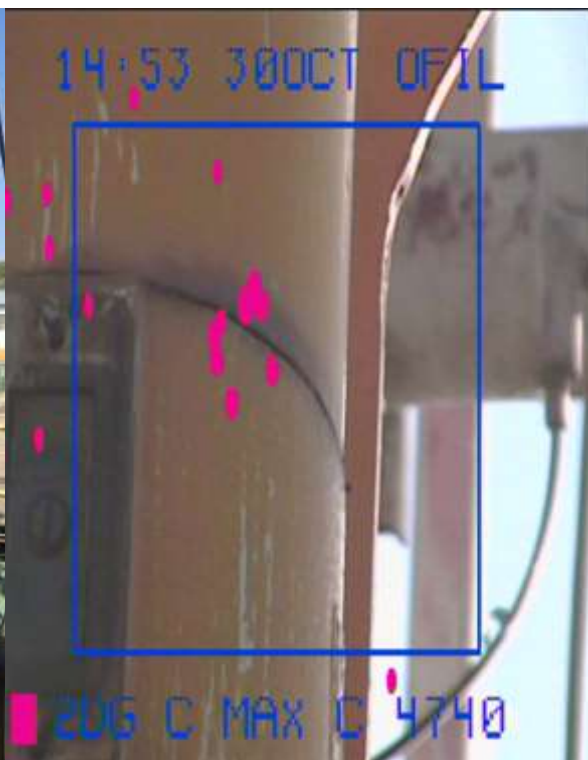
Obr. 60: Skutečný stav

Na obrázku číslo 61 je zachycen vypínač 35 kV pro použití ve venkovním prostředí. V průběhu diagnostiky rozvodny 35 kV došlo k nálezů ČV ve vrchní části tohoto vypínače. K nálezů došlo pomocí analogového a digitálního ultrazvuku. Na analogovém ultrazvuku byla intenzita zvukové emise indikována zřetelněji a bylo tak možné provést lokalizaci zdroje přesněji než s digitálním ultrazvukem. Zdroj této emise byl určen v místě mezery mezi plechy vrchního krytu a tělem vypínače. Jak je vidět na obrázku z corocamery číslo 62.

Při použití další měřicí techniky, jako přístroje VYZER, LDP-5, LDA 5/30 a termokamery nebyl zjištěn na tomto zařízení žádný zdroj ČV. Zdroj ČV indikoval tedy pouze ultrazvuk a corocamera. Z tohoto zjištění bylo usouzeno, že se pravděpodobně jedná pouze o výboje povrchové vzniklé rozdílem gradientu na ostrých hranách plechů. I tak byl z důvodu bezpečnosti doporučen odběr oleje ze zhášecí komory vypínače. Corocamera zobrazuje středně vysokou aktivitu ČV nepřetržitého charakteru.



Obr. 61: Skutečný stav



Obr. 62: Záznam z corocamery

5.2.8. Táhla odpínače a úsekového vypínače

Na obrázku číslo 63 je fotografie odpínače s vn pojistkami. Nadproud v obvodu je jištěn pojistkami, které při působení vybaví táhla ovládání odpínače. Pojistka při poruše (přerušení) vybaví signální terčík a spínačem pákového ústrojí, a to přeneše podnět na táhlo vypnutí a dojde k rozepnutí obvodu.

V případě dlouhodobého působení částečných výbojů na táhlo odpojovače hrozí vznik nevratných degradačních stavů materiálu táhla. Dlouhodobým působením ČV může dojít k vytvoření vodivé cesty na táhle a následně ke vzniku oblouku se zkratem s nevratným poškozením odpínače. Narušením struktury táhla mimo jiné hrozí zeslabení materiálu, a to může zapříčinit, že v případě poruchy na zařízení dojde ke zlomení táhla, a tak i k nevypnutí odpínače, což může způsobit velké škody, jak na zařízení, tak na objektu.

Další možností působení těchto degradačních vlivů je, že může dojít až k přerušení táhel jen působením částečných výbojů, ale toto nebezpečí hrozí až za delší časový úsek, což při prováděných pravidelných diagnostických měření hrozí jen minimálně.



Obr. 63: Měřené zařízení

Nález částečných výbojů na táhle odpínače byl pomocí ultrazvukového detektoru, pro přesnější lokalizaci bylo využito corocamery a přístroje VYZER. Na corocamerě byla okamžitě zřetelná výbojová aktivita v místě vzniku, která měla nepřetržitý charakter s vysokou intenzitou na táhle. Po nastavení corocamery na maximální citlivost se zjistilo, že intenzita výbojů v tomto místě byla 7400 jevů za minutu. Jedná se o povrchový jev, který způsobuje svodový proud na povrchu táhla. Pokud je zařízení v pořádku, nejsou zde zjištěny částečné výboje. V tomto případě můžeme rozhodnout jednoznačně o tom, že se jedná o kritickou závadu. Činnost výbojů se bude zvyšovat s postupem času, až dojde k poruše, pokud nebude zajištěna oprava zařízení.

Na ověření funkce corocamery bylo před objektiv umístěno čiré okenní sklo. Při tomto pokusu bylo ověřeno, že sklo je pro kameru neprůhledné, protože v okamžiku přiložení skla před objektiv nebyla indikována výbojová činnost. Na obrazovce corocamery nebyl záznam ČV. Na snímku z corocamery číslo 64 je záběr táhla s přiblížením částečných výbojů na jednotlivých částech táhla. Pro ověření diagnostických metod bylo provedeno i termovizní měření, což přispělo k potvrzení správnosti použitých metod a názorně prokázalo, že teplota v místě výbojové činnosti je o několik stupňů zvýšena díky jejich působení. Snímek z termokamery vidíme na obrázku č. 65.



Obr. 64: Celkový pohled corocamerou na táhla odpínače s indikací místa závady



Obr. 65: Snímek z termokamery

Dále měření probíhalo s přístrojem VYZER. Po složení a aktivaci přístroje s využitím měřicí antény střední velikosti se začala výbojová aktivita již ve vzdálenosti cca 1 metru s přibližováním k místu vzniku stupňovat, až byla tak silná, že byl přístroj přehlcen. Pro další měření bylo využito kratších antén. Snížení proběhlo vždy po zahlcení přístroje, a to o jeden délkový stupeň anténního pahýlu, až došlo k výběru vhodného pahýlu. S touto anténou došlo k přesné lokalizaci vzniku výboje, nedocházelo již při přibližování k zahlcení a bylo možno snímat na dotčené části zařízení částečné výboje. Snímání probíhalo posouváním vrchního snímače ve vzdálenosti cca 10 cm nad táhlem. Při tomto postupu byl nalezen zdroj výbojové aktivity a při porovnání se snímky z corocamery bylo zjištěno, že se tyto dva přístroje shodují s lokalizací místa výbojové činnosti.

Na obrázku číslo 66 je odpojovač na ruční pohon určený k vnitřnímu použití. Na dalších dvou obrázcích číslo 67 a 68 vidíme účinky dlouhodobého působení ČV na táhlo vypínače. Jedná se o pravou fázi. Působení ČV již způsobilo nevratnou degradaci na izolačním materiálu táhla. Dlouhodobým působením ČV může dojít k vytvoření vodivé cesty na táhle a následně ke vzniku oblouku se zkratem s nevratným poškozením vypínače. Narušením struktury táhla hrozí zeslabení materiálu, a to může zapříčinit, že v případě potřeby rozpojení kontaktů na zařízení dojde k utržení táhla, a tak i k neprovedení požadované operace, což může způsobit velké škody, jak na zařízení vlastním, tak na objektu a zejména ohrožení obsluhy odpojovače hořením oblouku při poruše.

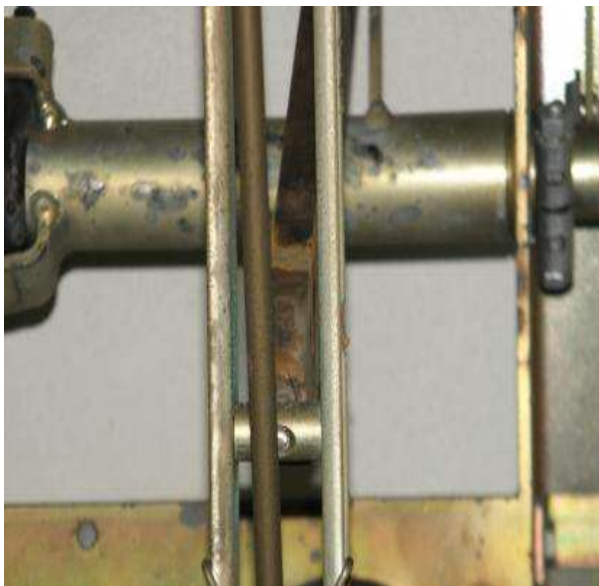


Obr. 66: Skutečný stav

Při vstupu do této distribuční stanice byla cítit velmi koncentrovaná hladina ozonu ve vzduchu a charakteristická zvuková emise ČV vysoké intenzity nepřetržitého charakteru. Při průchodu stanice a poslechu zvukové emise byl opticky pozorován na již popsaném táhle charakteristický vizuální jev, takzvané světélkování namodralé barvy vlivem ČV.

Nález částečných výbojů na táhle vypínače prvotně proběhl pomocí sluchu a optické kontroly. Zaměření proběhlo pomocí ultrazvukového detektoru. K přesnější lokalizaci bylo využito corocamery a přístroje VYZER. Na corocameře byla okamžitě zřetelná výbojová aktivita v bližší části táhla. Záznam z měření corocamerou vidíme na obrázku číslo 69.

Po nastavení corocamery na 70 % citlivost se zjistilo, že intenzita výbojů v postiženém místě je 6600 jevů za minutu. Jedná se o povrchový jev, který způsobuje svodový proud na povrchu táhla. V tomto případě můžeme rozhodnout jednoznačně o tom, že se jedná o kritickou závadu. Činnost výbojů se bude zvyšovat s postupem času, až dojde k poruše, pokud nebude zajištěna výměna poškozeného prvku zařízení.

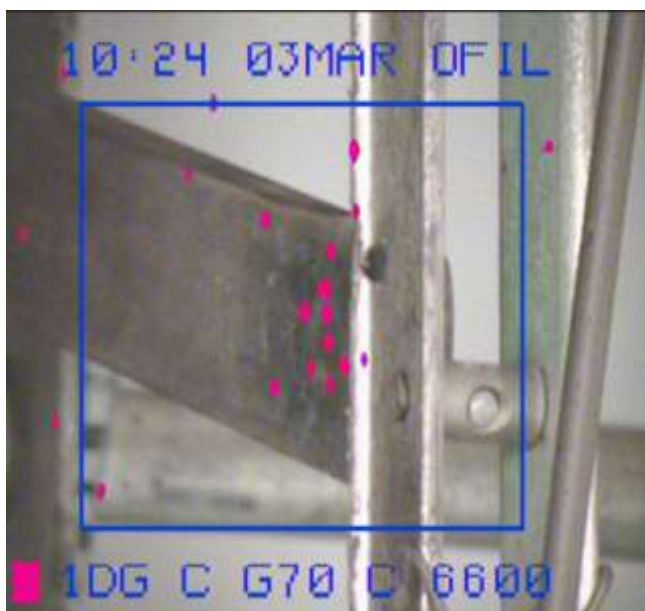


Obr. 67: Záznam táhla

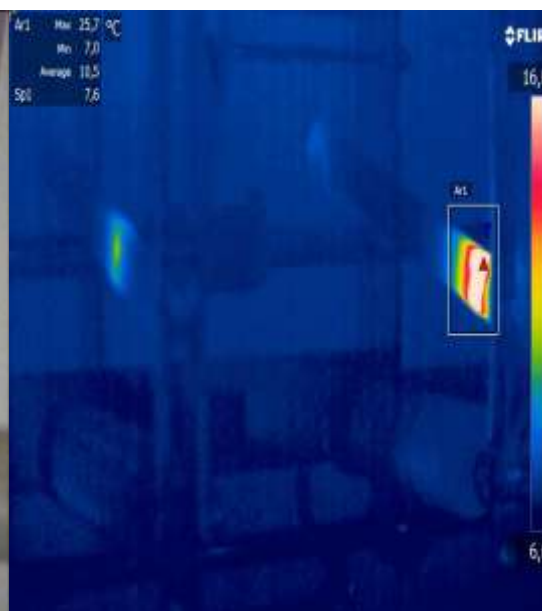


Obr. 68: Záznam táhla

Další měření probíhalo za pomoci přístroje VYZER. Po nasazení vhodného pahýlu proběhlo snímání celého vypínače. Přístroj VYZER odhalil přítomnost ČV i na ostatních táhlech. Aktivita ČV na těchto táhlech však byla teprve v počátečním stadiu rozvoje. Pro lepší dokumentaci závady bylo provedeno i termovizní měření. Záznam z tohoto měření je zachycen na obrázku číslo 70. Na tomto obrázku je jasně vidět místo s lokálním ohřevem, které na vedlejším snímku zobrazuje i corocamera. Ohřátí tohoto místa je poměrně vysoké. V tomto případě byla doporučena oprava v nejbližším možném termínu. Jak je patrné z obou závad není rozhodující stáří zařízení, ale vliv prostředí a kvalita použitých izolačních materiálů.



Obr. 69: Záznam z corocamery



Obr. 70: Záznam z termokamery

5.2.9. Opěrný prvek komory vypínače

Při měření v blokové rozvodně 22 kV byla zjištěna pomocí ultrazvukového detektoru přítomnost částečných výbojů. Došlo tedy k otevření předních i zadních dveří jednotlivých kobek. Následovala přesnější lokalizace výbojové aktivity. Nález byl lokalizován v jedné z kobek na vypínači typu VF, v kterém je zhášecím médiem SF₆. Zaměření proběhlo z čelní strany pohledu, a to průhledem mezi tímto vypínačem a vlastní technologií rozvodny. K určení přesného místa vzniku a intenzity částečných výbojů bylo použito corocamery. Na obrázku číslo 71 a 72 je znázorněn výše zmíněný vypínač.



Obr. 71: Měřený prvek s nálezem



Obr. 72: Detailní zobrazení nálezu

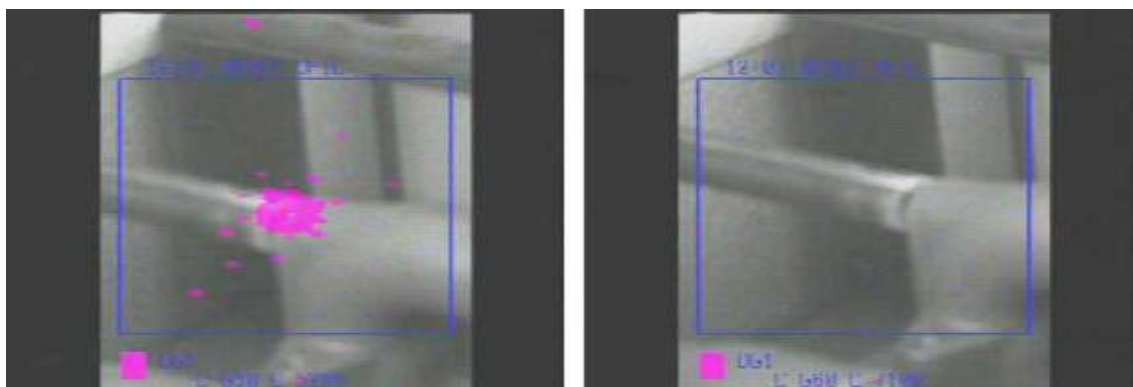
Při tomto měření bylo vyzkoušeno i optické detekce. Provedlo se tak, že se celá místnost, ve které je umístěna zapouzdřená rozvodna, zatemnila. Pak proběhlo sledování v místě nálezu ultrazvuku. Po chvíli sledování a navyknutí očí na tmou, byla patrná aktivita částečných výbojů. Projevem této aktivity byla světélkující vizuální emise modrobílé barvy. Snímek této emise vidíme na obrázku číslo 73, pro zpřesnění místa aktivity je v obrázku umístěna šipka.



Obr. 73: Snímek vizuální emise

Částečné výboje na podpěře vznikly ve vzduchové mezeře izolační opěry a pólem vypínače. V tomto případě je příčinou špatná montáž, neboť pokud jsou podpěry správně namontovány, neměla by být mezi komorou a podpěrou žádná vzduchová mezera. Na obrázku číslo 72 můžeme vidět jasné stopy oxidace povrchu materiálu. Při bližším ohledání míst s oxidací bylo zjištěno, že v některých místech došlo již k úplné degradaci povrchu epoxidu a průniku doprovodných vlivů částečných výbojů pod povrch.

Měřením pomocí corocamery byla zjištěna výbojová činnost nepřetržitého charakteru silné intenzity na konci opěrné části, čímž se potvrdily ostatní měřicí postupy. V tomto stádiu se jedná už o kritickou poruchu a je jí nutno okamžitě řešit. Četnost výbojů se bude s časem stupňovat a dojde tak ke zhoršení stavu izolace, protože se jedná o kritickou součást systému, která se nachází na kritickém místě a kritickém materiálu. Byla doporučena výměna izolačních opěr za podpěrné izolátory z plastu v nejbližším možném termínu podle provozních možností.



Obr. 74: Snímek podpěry corocamerou

6. Závěr

V této práci byla předvedená měřicí technika sloužící k vyhledávání a měření částečných výbojů. Možnosti a schopnosti měřicí techniky byly předvedeny na jednotlivých závadách s různými výsledky. Pravidelné měření ČV na zařízení elektrické soustavy nám dává velikou výhodu v předcházení poruch a umožňuje nám odhalit stav zařízení.

Přístroj VYZER se osvědčil při detekci a vyhledávání částečných výbojů na všech napětových hladinách s výraznou vypovídací schopností o stavu zařízení. Při dohledávání závad je schopen velmi přesně lokalizovat místo vzniku částečného výboje. Výhodou je také možnost výměny anténních pahýlů a změnit tak citlivost při vyhledávání.

Corocamera se používá v terénních podmínkách. Převážně byla sledována její schopnost odhalit závadu a přesně určit místo vzniku částečných výbojů v závislosti na okolních podmínkách s ohledem na atmosférické a klimatické vlivy. Bylo zjištěno, že schopnost přístrojů reagovat na částečné výboje se nemění s prostředím, ale i intenzita výbojové aktivity je proměnná s prostředím.

Corocamera má velice dobrou schopnost zobrazit a archivovat naměřená data. Neboť data jsou okamžitě zobrazována na displeji i s intenzitou výbojů a ukládají se přímo na kartu. Z této karty lze data stáhnout do PC a ve vhodném programu zpracovat. Při měření vnějších ČV corocamera znázorňuje částečné výboje velice přesně. V případě měření vnitřních ČV je schopnost indikace corocamerou výrazně ovlivněna možností vyzáření emise ze zařízení, proto je zde citlivost nižší. Záleží zde převážně na intenzitě ČV v závislosti na prostupu k povrchu měřeného prvku.

Na popsáných případech závad je zde ukázána schopnost přístrojů lokalizovat poruchová místa s poukázáním na jejich vlastnosti a vypovídací schopnosti. Praktická měření dokládají, že není přístroj, který by byl schopen odhalit všechny různorodé druhy projevů ČV a z tohoto důvodu je důležité provádět měření kombinací více měřicích přístrojů a postupů. V této práci je také uvedeno, jak částečné výboje vznikají a jak se projevují. Tyto věci je nutné znát, aby bylo možné provést vyhledání nebo měření částečných výbojů s patřičnou přesností a nebyla snížena vypovídací schopnost získaných dat.

7. Použitá literatura

- [1] Václav Mentlík, Josef Pihera, Radek Polanský, Pavel Prosr, Pavel Trnka: Diagnostika elektrických zařízení. Praha, 2008
- [2] Karel Záliš: Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Praha, 2005
- [3] ČSN EN 60270: Technika zkoušek vysokým napětím – Měření částečných výbojů, 2001
- [4] Ing. Petr Voda, Csc: Diagnostická měření částečných výbojů – úvod do problematiky. LDIC, 2001
- [5] OFIL systems: Technická dokumentace korónové kamery. OFIL, 2011
- [6] Ing. Lubomír Kočiš: Návod k obsluze přístroje VYZER II. Běchovice, 2008
- [7] Ing. Jiří Svoboda, Termodiagnostika učební texty
- [8] Doc. Dr. Ing. Věslav Mach, Technika vysokého napětí, Ostrava, 2006, 2. přepracované vydání
- [9] Lou Ying, Bai Ting zhu, A Study on Solar Blind UV ICCD Detection Performance, Beijing, 2008